

「超短波放送(FM放送)における同一周波数 放送波中継による同期放送に関する調査検討」

報告書 【概要版】

令和7年3月

超短波放送(FM放送)における同一周波数放送波中継
による同期放送に関する調査検討会

(事務局 総務省中国総合通信局 株式会社NHKテクノロジーズ広島総支社)

第1章 調査検討の概要

調査検討の目的

超短波放送（以下「FM放送」という。）における同一周波数放送波中継による同期放送は、放送波中継で受信する周波数と放送用中継局（以下「自局」という。）で送信する周波数が同一であることから、自局の受信設備で受信する放送波と自局が送信する放送波との判別が難しいことなどから実用化されていない。

本調査検討では、新たに開発された「FM回り込みキャンセラー機能を内蔵したFM放送中継装置（以下「FM回り込みキャンセラー装置」という。）」を活用して、同一周波数放送波中継による同期放送に関する技術的条件を検討するものであり、「FM回り込みキャンセラー装置」の実用化に向けて、周波数偏差、最大周波数偏移、遅延時間などの技術的条件を明らかにすること、および屋内・屋外試験により「FM回り込みキャンセラー装置」の有用性を確認することを目的とした。

調査検討会及び公開試験 開催日程

会合及び公開試験名	開催日	開催場所
第1回検討会	令和6年 7月 3日	TKPカーデントリーPREMIUM広島駅前 2A
第2回検討会	令和6年 8月24日	TKPカーデントリーPREMIUM広島駅前 8B
屋内試験視察	令和6年11月24日	日本通信機株式会社 本社（相模原）
第3回検討会	令和6年12月10日	山口放送株式会社 7階会議室
屋外試験視察	令和6年12月11日	山口県内 長門～豊北～豊田
第4回検討会	令和7年 3月11日	TKPカーデントリーPREMIUM広島駅前 8B
公開試験	令和7年 3月26日	山口大学 工学部 常盤キャンパス内
第5回検討会	令和7年 3月26日	山口大学 工学部 第5会議室

第1章 調査検討会の構成委員

(敬称略)

調査検討会構成委員

座 長	村 田 英 一	山口大学大学院 創成科学研究科 工学系学域電気電子工学分野 教授
副 座 長	西 正 博	広島市立大学大学院 情報科学研究科 教授
構 成 員	松 井 浩 孝	日本放送協会広島放送局 コンテンツセンター 共通業務グループ システム技術(送受信)副部長
構 成 員	河 内 庸 彦	株式会社中国放送 技術局放送センター長
構 成 員	寺 島 陸 雄	広島エフエム放送株式会社 管理本部技術部長
構 成 員	恵 良 勝 治	山口放送株式会社 取締役技術局長
構 成 員	河 野 憲 治	日本通信機株式会社 取締役技師長
構 成 員	富 永 洋 一	株式会社コミュニティエフエム下関 代表取締役会長
構 成 員	高 田 政 幸	一般社団法人電波産業会 デジタル放送システム開発部会 デジタルSTL/TTL作業班 主任
構 成 員	伊 藤 英 知	中国総合通信局 無線通信部長(第1回まで)
構 成 員	遠 藤 鉄 裕	中国総合通信局 無線通信部長(第2回以降)
構 成 員	小笠原 通 晴	中国総合通信局 放送部長

第1章 調査検討の項目

検討事項

① FM回り込みキャンセラー装置の単体性能 屋内・屋外試験

「FM回り込みキャンセラー装置」の実用化に向け、FM中継局と同一の性能を有する機器を用いて、必要な技術的条件を屋内・屋外試験で検討する。特に、上位局からの放送波を受信する周波数と自局が送信する周波数を識別する必要があることから、送信周波数を「常時 $\pm 100\text{Hz}$ の範囲内でシフトさせる方式」と「 $+100\text{Hz}$ 」又は「 -100Hz 」で固定する方式」に関して確認する。確認項目は次のとおり。

- (ア) 周波数偏差
- (イ) 最大周波数偏移
- (ウ) 装置単体による遅延時間
- (エ) その他必要な技術的条件

② 「FM中継局－FM中継局1」、「FM中継局2－FM実験局」を想定した屋内・屋外試験

「FM回り込みキャンセラー装置」の実用化に向け、「FM中継局」と「FM中継局1」、「FM中継局2」と「FM実験局」間で等電界地域における同期放送に必要な技術的条件を屋内・屋外で検討する。

③ 上位局を同一とし複数台「FM回り込みキャンセラー装置」を活用した場合の屋内・屋外試験

FM中継局から多方向（「FM中継局－FM実験局1」及び「FM中継局－FM実験局2」）で「FM回り込みキャンセラー装置」が設置されたことを想定し、必要な技術的条件を屋内・屋外で検討する。

第2章 同一放送波中継装置の概要

第2章 同一放送波中継局の概要

➤ 同一放送波中継局（F M回り込みキャンセラ装置）の仕組み

放送波中継局において、上位局と同じ周波数で送信すると受信アンテナには高いレベルで自局の送信波が回り込む。同じ周波数なので入力フィルタで分離することはできない。「F M回り込みキャンセラー装置」は受信信号に含まれる自局の回り込み波を除去し、上位局の信号のみを取り出して再送信するための装置である。

回り込み波を除去する原理は、回り込み波Uの複製U'を作って、受信信号から引き算をする。（Uと同じU'を生成すれば、 $R = D + U - U' \approx D$ となり、親局波のみを中継することができる）これは、地デジの回り込みキャンセラーやW e b会議システムで使われている音声信号のエコーキャンセラーも同様の原理である。F M放送はアナログ変調であるため、無音のときは変化のない変調信号になってしまうため遅延時間の解析が通常は正しく行えないが、現在試験運用しているF M回り込みキャンセラーは、無音となったときでも遅延解析が正しく行えるように送信周波数をわずかにずらしている。Q M O D（直交変調）部の上に記載しているように+ 1 0 0 H z 周波数をシフトしている。「F M回り込みキャンセラー」の詳細については、映像情報メディア学会に投稿している論文を参照のこと。特筆すべきところは、下の図のようにF M放送でも遅延プロファイルの解析を可能にしたことである。これで複数の回り込み反射波にも対応することができる。

- 回り込み波の複製を生成し、受信信号から減算する

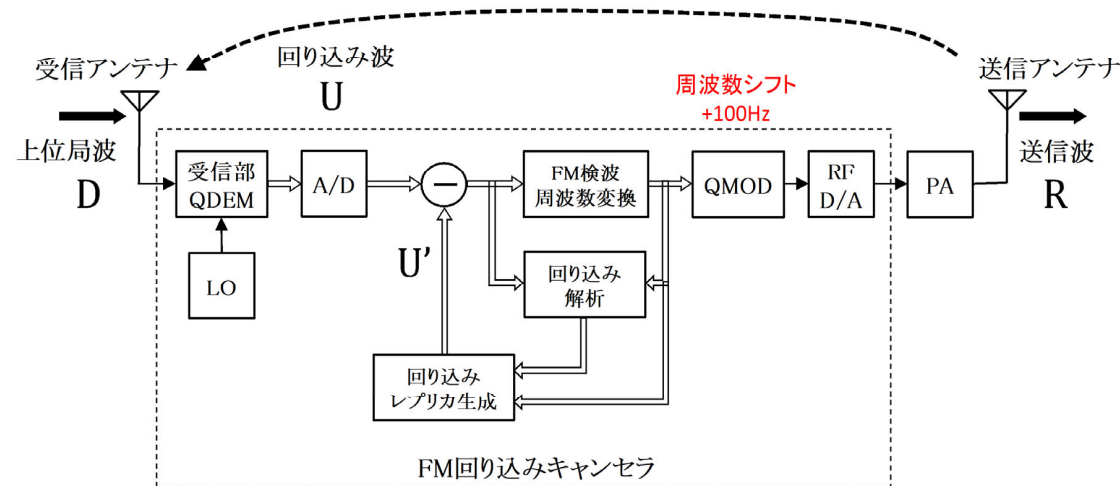


図2-1. FM回り込みキャンセラー装置の構成図

第2章 FM回り込みキャンセラー装置の概要

「FM回り込みキャンセラー機能を内蔵したFM放送波中継装置」とは「高機能FM中継装置」（プロトタイプ）である。



図2-2. FM回り込みキャンセラー装置本体

【主な機能】

- ・FM中継装置（親局からの電波を受信し、別の周波数で送信する）
- ・同一周波数の送受信機能（回り込みキャンセル）
- ・同一周波数干渉除去機能（親局とは別の同一周波数【同種・異種プログラム】）
- ・マルチパス波除去機能

【動作モード】

- ・1 アンテナモード（遅延プロファイルキャンセル型）
- ・2 アンテナモード（アンテナ位相合成 + 回り込みキャンセル型）

第2章 同一放送波中継装置が開発された背景

高度利用に向けた基本的考え方

地上デジタル放送では、デジタル変調であることを利用して各種補償器が実用化されてきた。

- ・伝送路でのマルチパスを除去する「マルチパス等化装置」
- ・同一周波数で放送波中継を実現する「回り込みキャンセラー」
- ・同一チャンネルの混信波を除去する「同一C h 干渉除去装置」

山口放送（株）では、放送エリアを拡張するにあたって、FMでも放送波中継用の補償器があれば… という思いから開発と実験を行ってきた。

これまで、アナログ変調であるFMでは実用化が困難であったが、数々の困難を乗り越えてついにFMでも放送波中継用の補償器を実現することができた。

2020年から、山口放送 豊北FM実験局で「FMでの回り込みキャンセル」の実験を行っている。2021年8月からは、山口放送 豊田FM局で韓国波や中国波の混信を除去する「同一周波数干渉除去装置」が稼働している。

FM回り込みキャンセラーによる置局イメージ

FM回り込みキャンセラーを使うと、同一周波数での放送波中継が可能となる。

図2-3に示すように、山間部などで親局の電波が届きにくいところに中継局を設置して、同一周波数で放送エリアを拡張するという使い方になる。また、臨時災害局など同一周波数での再送信が望まれる用途に活用できると考えている。しかしながら、どうしても上位局の波を受信して再送信するため中継遅延がある。そのため、重複エリアで遅延時間差のある干渉となり、受信品質が劣化することになる。D/Uが十分確保できれば特に問題となることはないが、放送エリアの重複はできるだけ狭いエリアとなるようにするのが望ましいと言える。本検討会では、この放送エリアの拡張と受信品質の劣化状況を検討していくことになる。

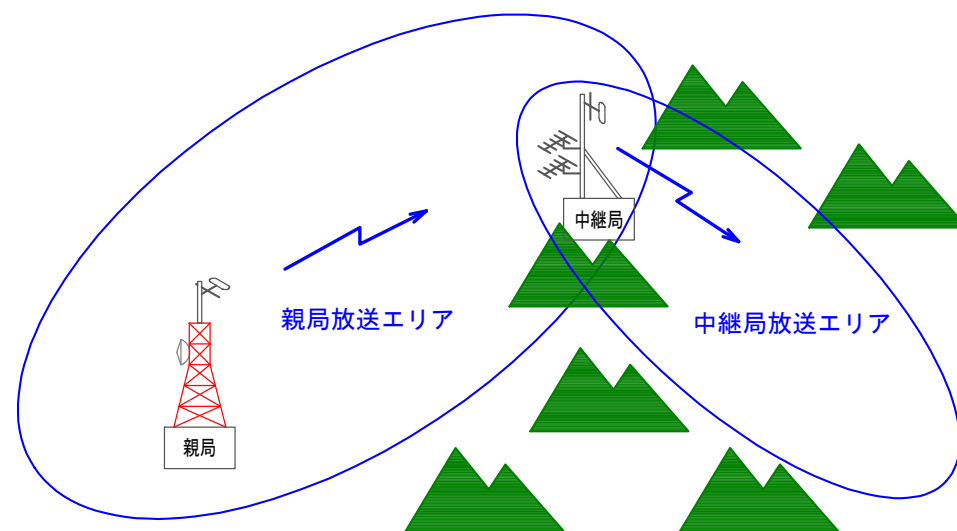


図2-3. FM回り込みキャンセラー中継局の置局イメージ

第3章 同期放送の概要

第3章 同期放送のイメージ

同期放送技術

➤ FM同期放送のイメージ

FM同期放送は、下図イメージのとおり、放送区域が重複又は隣接する複数の送信所が同一の周波数により同一の番組を同時に放送するものであり、デジタル技術等を活用し、放送波の搬送波等を精密に管理することで、干渉妨害領域における音質劣化の軽減を可能とするものである。

FM同期放送においては、親局と子局、親局を除く子局等を同期対象として、2つの送信所間の2局同期や3つの送信所間の3局同期が行われており、各送信所からの放送波が重なるエリア（干渉妨害領域）には、放送波の電界強度比が0dBとなる等電界地域が存在する。

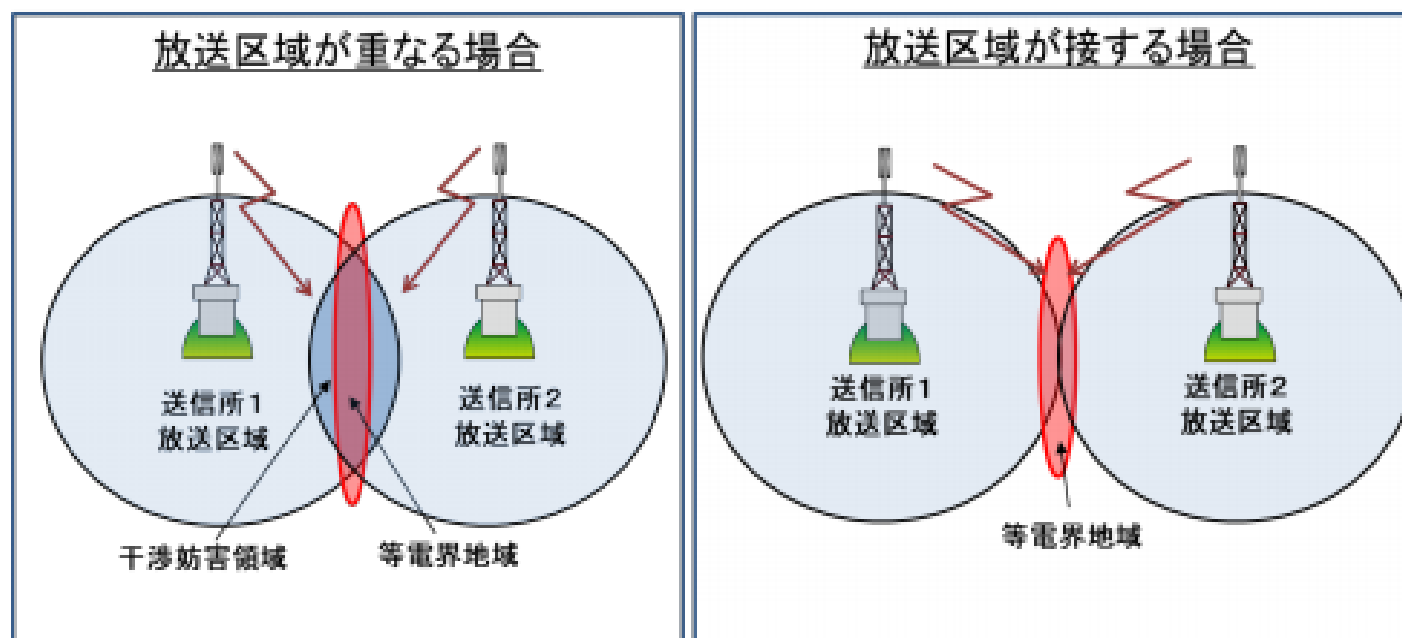


図3-1. 同期放送のイメージ

第3章 同期放送の方式

➤ 同期方式

① 独立同期方式

同期放送を行う放送局ごとに独立した基準信号（GPS等による）を取得し、それぞれの局で、周波数、音声遅延等を制御して行う同期方式である。この方式は、基準信号を各局で取得するので、伝送回線としては、音声信号のみを伝送すればよく比較的簡便な方式であるが、上位局と同等の精度を有する基準信号を取得する必要がある。

② 従属同期方式

上位局から各放送局に基準信号を伝送し、この基準信号に従い（従属）、搬送波周波数、音声遅延等を制御して行う同期方式である。この方式は、上位局から、基準となる信号を送る手段が必要である。このため、下位局では、あらたな基準信号の取得が不要となる。

③ 変調波分配方式（完全同期方式）

一つの発振器およびF M変調器で変調された信号を、各局に伝送し、同期放送を行う方式である。放送ネットワーク内で、発振器、F M変調器が一つのみなので、各放送局での変調特性が完全に一致する。伝送回線としては、光ファイバー（ダークファイバー）が必要である。周波数、変調特性が一致しているので、下位局では、回線による遅延時間を調整するだけでよい。

➤ 各種同期方式のまとめ

独立同期方式で使用する基準信号は、近年、GPS等を利用し、各局で独立して精度の高い基準信号を容易に取得できる手法が確立されている。一方、従属同期方式では、基準信号は中継回線を通して各局に配信されるため、精度が損なわれないよう中継回線毎に管理を行う必要がある。このため、各局が独立してF M同期放送を実現し、後から下位局を容易に追加できる独立同期方式が早期の立ち上げに適していると考えられる。

なお、自治体やCATV業者が敷設する光ファイバー（ダークファイバー）が安定して利用できる場合には、変調特性が一致する変調波分配方式も同期放送に有効である。

第3章 同期放送システムの設計・運用技術

➤ 同期放送システム設計及び運用のための技術

一般的に同期放送はエリア拡大に併せて順次開局していく場合が多い。このため後発局はすでに放送を行っている先発局の放送に被せる形で試験放送を開始していくことになる。このシステム設計と運用方法は臨時災害放送局にも当てはまると考えられ、下記にF M同期放送の放送エリアにおける運用のための具体的な確認事項を示す。

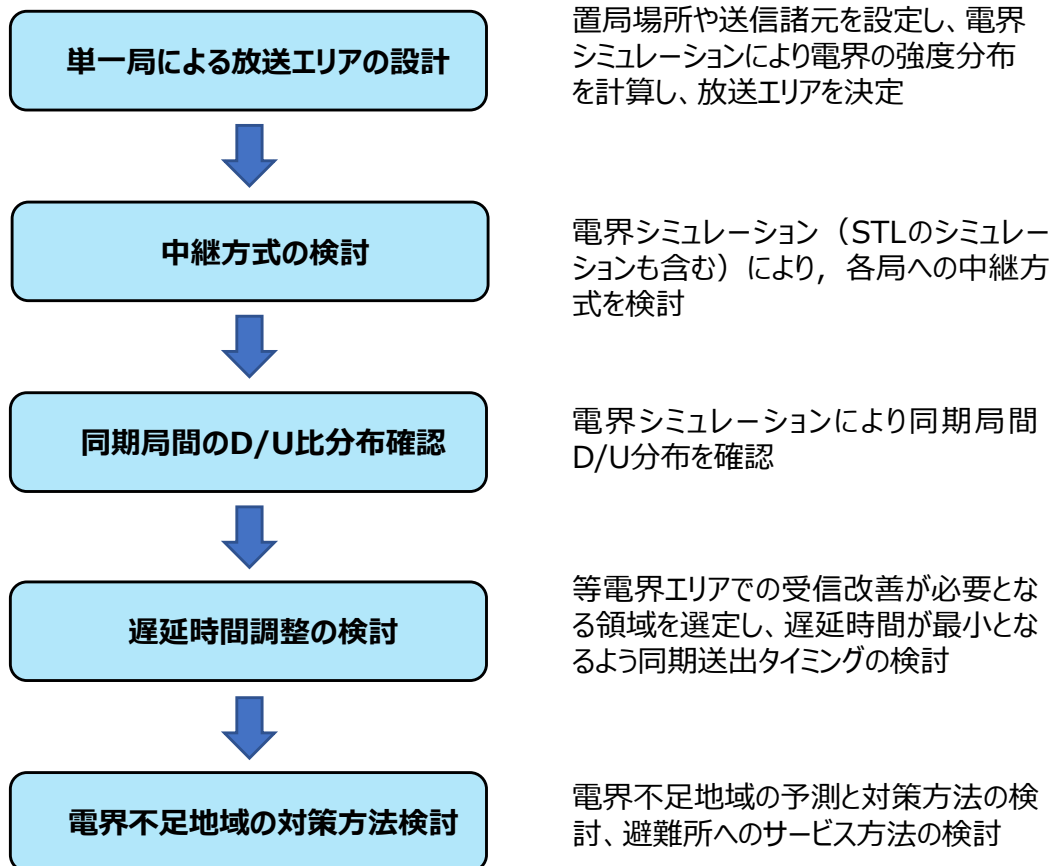


図3-2. 同期放送システムの検討手順

① D/U分布確認

電界シミュレーションを基に、後発局の電波発射前に後発局エリア内において先発局の電界強度を事前に測定する。次に、先発局の放送休止時間に後発局のみの電界強度を測定することで、先発局と後発局の電界強度が等しくなる等電界地点を確認することが可能である。

② 遅延時間の確認

DU比=0 dB の等電界地点において2 波の相対遅延時間差が0μsとなるように後発局の同期送出タイミング設定を行う。相対遅延時間差測定は、既存局および新局からのトーンバースト信号をそれぞれ測定し、1PPS信号をトリガーとしたそれぞれの絶対遅延時間の差分として確認することができる。

③ F M S F Nアナライザーによる測定

従来、RF遅延時間確認は特殊なトーンバースト信号を使用して測定するため、測定は夜間の放送休止時間に行われてきた。最近では、通常のプログラム信号でも相対遅延時間差を測定することが可能な同期放送用測定器（FM SFNアナライザー）が開発されたので、通常の放送時間中にも遅延時間測定が可能となった。詳細は「FM同期放送用SFNフィールドアナライザの開発と実用化」参照。 ※PSER（Pilot Signal Error Ratio）

第3章 FM同期放送の技術的要件

➤ FM同期放送の技術的条件の情報通信審議会における検討

情報通信審議会は、諮問第2023号「放送システムに関する技術的条件」のうち「FM 同期放送の技術的条件」について、検討を行い、放送区域の一部が重複又は隣接するFMラジオ放送局（FM補完中継放送局及びコミュニティ放送局を含む。）のうち、同一の周波数を使用して同時に同一番組を放送するものであって、相互に同期放送の関係にある基幹放送局に適用する技術的条件をまとめている。（令和2年3月）

その要件は大きく3つに挙げられることが報告されている。

① 周波数の精密な管理・安定化のために必要な項目

FM同期放送では、同期を構成する送信所同士の各種周波数（主搬送波の周波数、副搬送波の周波数及びパイロット信号の周波数等）に差異があると、干渉妨害を領域で受信劣化が発生するため、周波数を同一化するための精密かつ安定的な周波数管理が必要。

② 音声信号の綿密な管理

アナログ伝送方式では、伝送路により音質劣化の状況が異なるため、各送信所に伝送される音声信号を同一化することは極めて困難であり、FM同期放送の導入が進まない理由の一つとなっていた。しかし、AES/EBU等のデジタル伝送方式を使用することにより、音声信号を精密に管理できるようになり、各送信所に伝送される音声信号の同一化が可能となっている。

③ FM同期放送の最適なエリア設計

FM同期放送では、各送信所からの放送波の伝搬を考慮した最適な放送区域を設定する必要があり、そのためには受信点における同期を構成する各送信所のDU比と送信所から受信点までの距離差による伝搬の遅延時間差が重要となる。同期を構成する各送信所のDU比を確認し、等電界地域における遅延時間の調整を行うことにより、遅延時間差による等電界地域の音質劣化を改善することが可能となる。

また、各送信所から受信点に到達するFM放送波の遅延時間のゆらぎは、同期干渉による音質劣化を引き起こすため、演奏所から送信所までの伝送路で発生する遅延時間及び送信機や音声コーデック等の装置内で発生する遅延時間の揺らぎを安定化させる必要がある。

第4章 屋内試験

第4章 屋内試験の実施

屋内試験の概要

- (1) 予備試験（基本性能の確認、SINADとPSERの関係、同期放送の確認）
- (2) 単体でのFM回り込みキャンセラーの回り込み量と遅延時間を変化させた場合の確認
（条件①）：豊北実験局単体動作を想定（1 kHz, Piano）
- (3) 親局・実験局間での重複エリアの状況確認
（条件②）：長門局と豊北実験局を想定
- (4) 既存中継局と実験局間での重複エリアの状況確認
（条件③）：豊田局と豊北実験局を想定
- (5) キャンセラー実験局 1 とキャンセラー実験局 2 間での重複エリアの状況確認（条件④）
- (6) 親局・実験局ともにフリーランの状態では回り込み D/U を変化させた場合の確認（条件⑤）
- (7) 総合評価

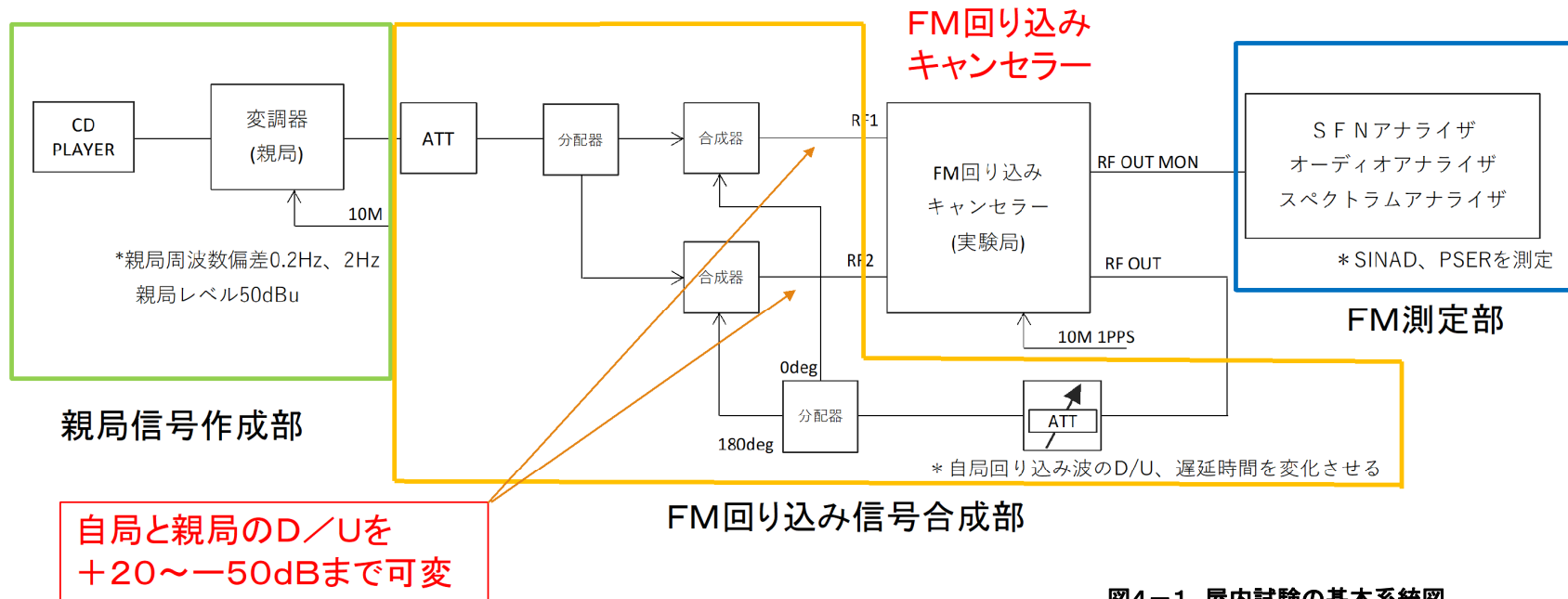


図4-1 屋内試験の基本系統図

第4章 屋内試験の実施

屋内試験の状況



図4-2 親局信号作成部

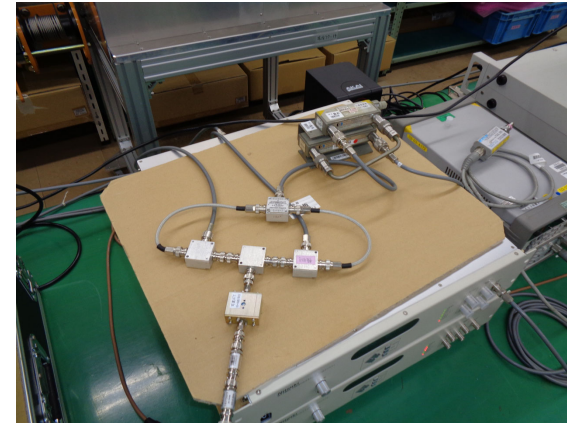


図4-3 FM回り込み信号合成部

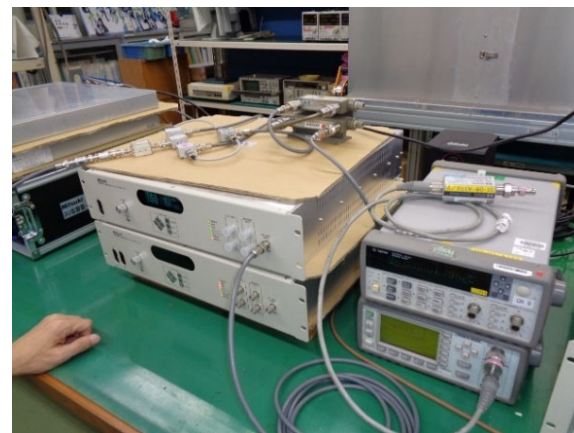


図4-4 FM回り込みキャンセラー

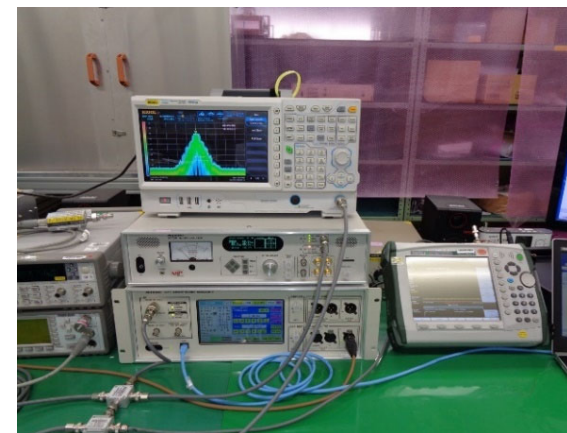
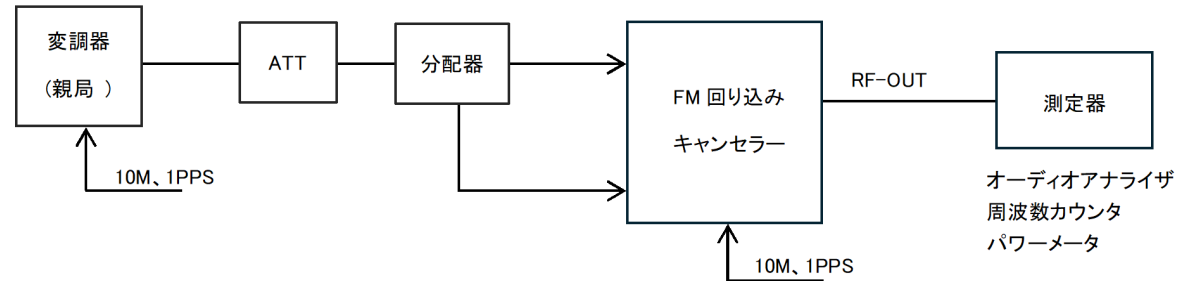


図4-5 FM測定部

第4章 屋内試験 結果

(1)基本性能確認

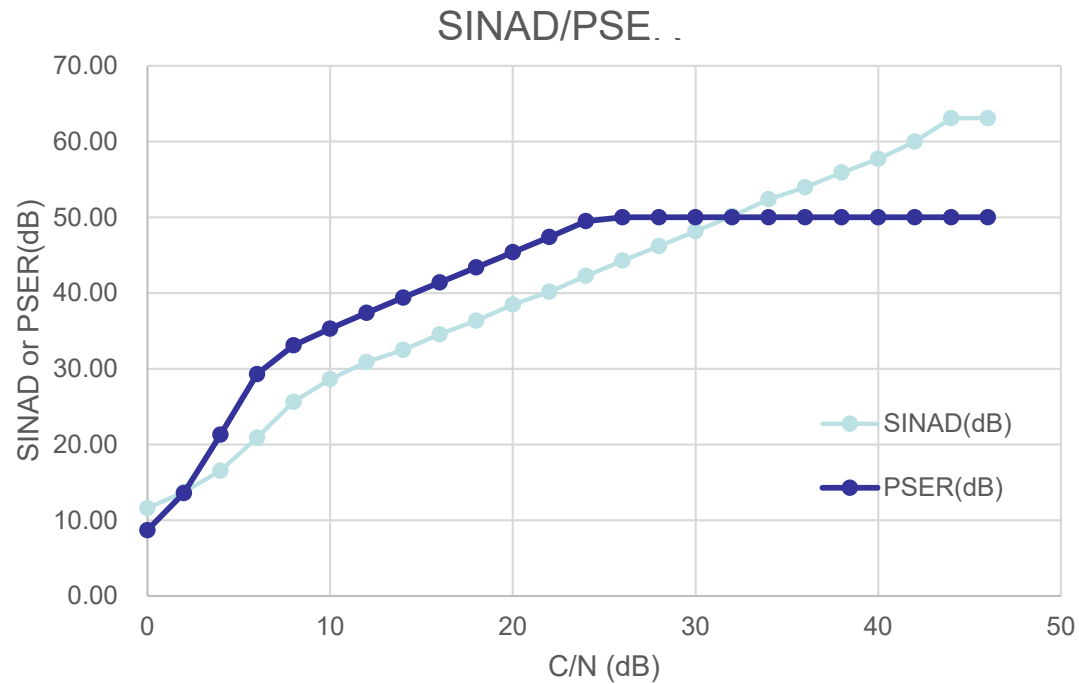
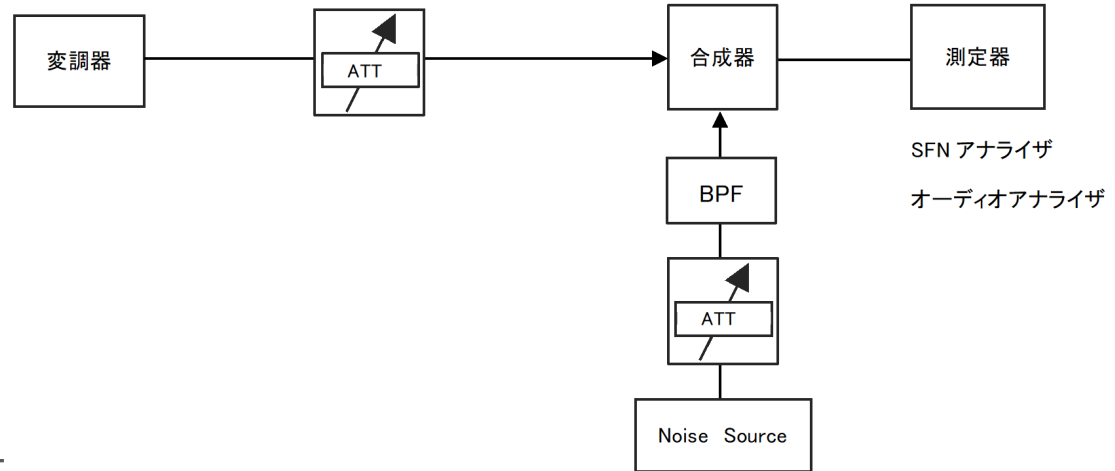


項	項 目	規 格	試験成績
1-1	送信周波数偏差	92.3MHz ± 1Hz 以内 (外部基準入力時)	92.300000MHz
1-2	出力レベル	0dBm±0.5dBm	0.0dBm

項	項 目	規 格								
2-1	周波数特性 (音声信号入力)	± 0.5dB 以内 (1kHz を基準とし、50Hz ～ 15kHz における 50 μ s 標準プリアンプ特性に対して)								
	周波数	50Hz	100Hz	400Hz	1kHz	3kHz	5kHz	7.5kHz	10kHz	15kHz
	50 μ s 標準プリアンプ特性	-0.41dB	-0.40dB	-0.34dB	0.00dB	+2.35dB	+4.99dB	+7.78dB	+9.95dB	+13.25dB
	MONO	-0.37dB	-0.38dB	-0.31dB	+0.00dB	+2.44dB	+5.04dB	+7.83dB	+9.93dB	+12.97dB
	STEREO(L)	-0.36dB	-0.36dB	-0.31dB	+0.00dB	+2.51dB	+5.10dB	+7.85dB	+9.95dB	+13.00dB
	STEREO(R)	-0.42dB	-0.42dB	-0.37dB	+0.00dB	+2.43dB	+5.03dB	+7.82dB	+9.88dB	+12.87dB
2-2	左右分離度	50dB 以上 (100Hz ～ 10kHz において)								
	周波数	50Hz	100Hz	400Hz	1kHz	3kHz	5kHz	7.5kHz	10kHz	15kHz
	L→R	60.0dB	60.2dB	60.6dB	60.4dB	60.4dB	59.7dB	57.3dB	56.9dB	54.6dB
	R→L	60.4dB	60.7dB	60.2dB	60.8dB	60.6dB	59.9dB	57.4dB	58.2dB	55.5dB
2-3	ひずみ率	0.5% 以内 (50Hz ～ 15kHz において)								
	周波数	50Hz	100Hz	400Hz	1kHz	3kHz	5kHz	7.5kHz	10kHz	15kHz
	MONO	0.09%	0.09%	0.08%	0.08%	0.09%	0.11%	0.25%	0.10%	0.19%
	STEREO(L)	0.07%	0.08%	0.07%	0.09%	0.09%	0.11%	0.26%	0.10%	0.19%
	STEREO(R)	0.07%	0.09%	0.08%	0.10%	0.09%	0.11%	0.25%	0.10%	0.16%
2-4	S/N									
	MONO	65dB 以上 / 1kHz 100% 変調時 (ただし変調器の S/N が 70dB 以上であること)						67.6dB		
	STEREO(L)							67.4dB		
	STEREO(R)							67.5dB		

第4章 屋内試験 結果

(2) SINADとPSERの関係

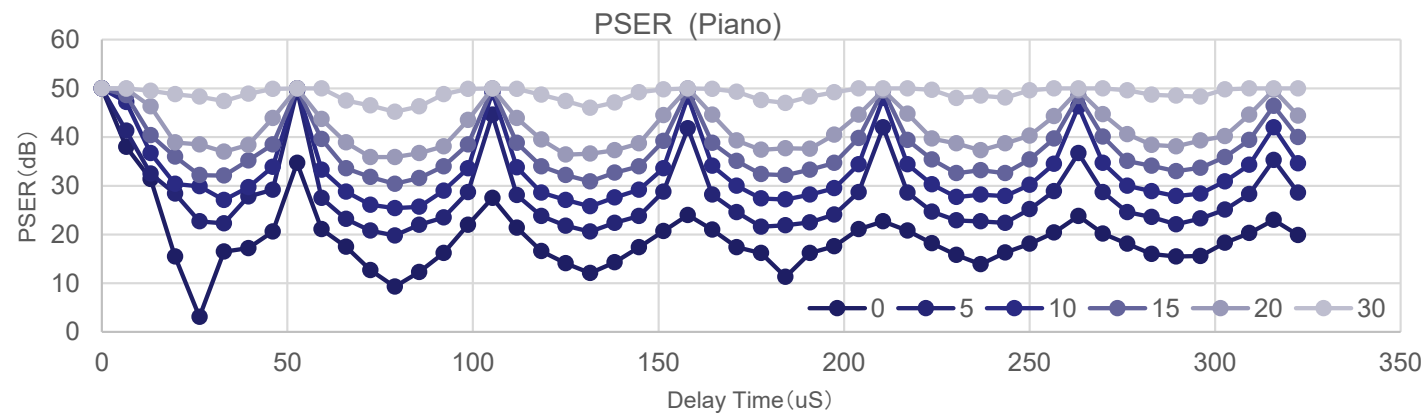
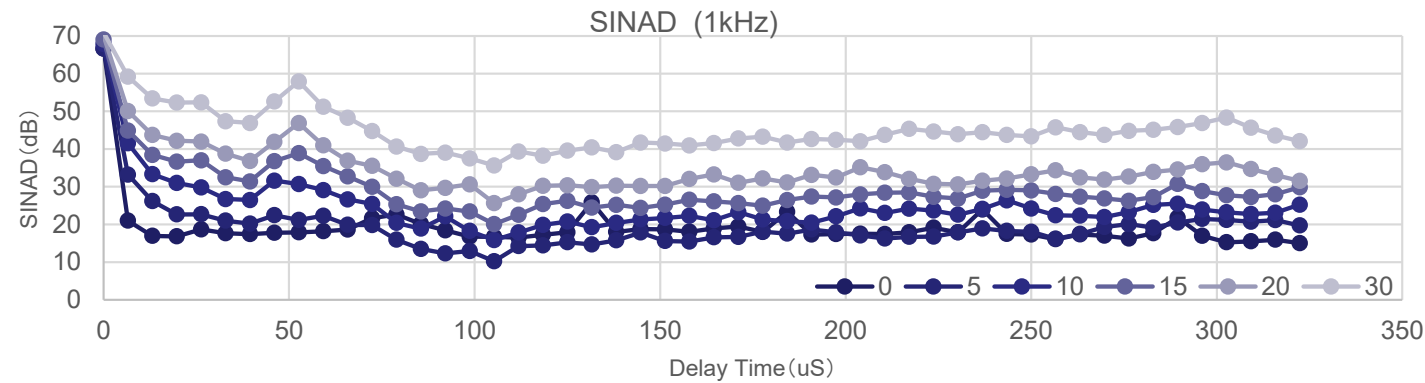
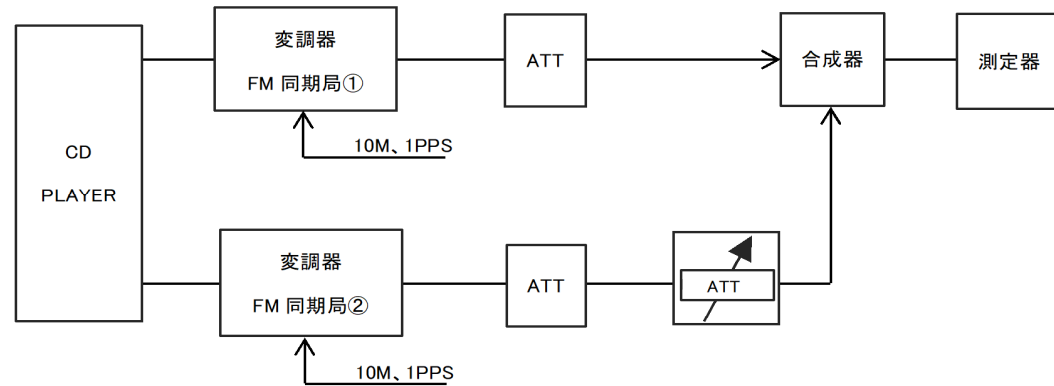


- ・対C/Nは直線関係が確認された。
- ・PSERは測定範囲が少し狭い。
- ・PSERの上限は50dB。
- ・下限も少し早く訪れる。

SINAD	Signal-to-noise and distortion ratio
PSER	パイロット信号エラーレシオ Pilot Signal Error Ratio

第4章 屋内試験 結果

(3)同期放送の確認

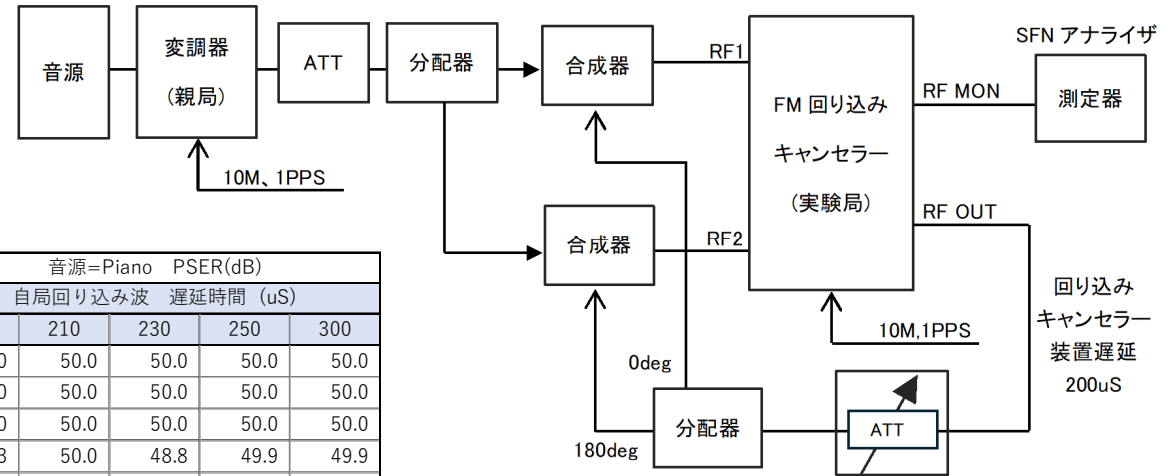


$\frac{1,000,000\mu\text{s}}{19,000\text{Hz}} = 52.6\mu\text{s}$
の周期でパイロット信号
同士の位相に関する
特徴が現れる。

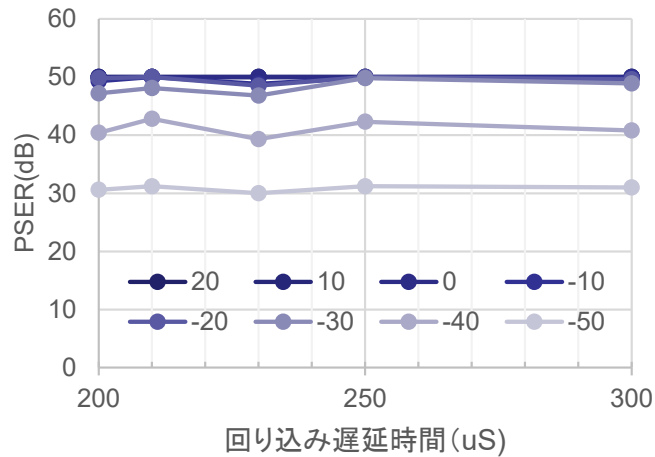
第4章 屋内試験 結果

(4)条件①の試験結果

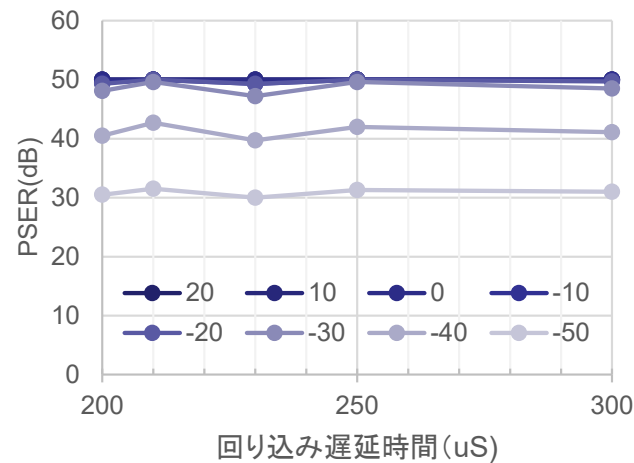
周波数 シフト	自局 D/U(dB)	音源=1kHz SINAD(dB)					音源=Piano PSER(dB)				
		自局回り込み波 遅延時間 (uS)					自局回り込み波 遅延時間 (uS)				
		200	210	230	250	300	200	210	230	250	300
+100Hz	20	63.1	61.9	60.9	61.9	63.1	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
	10	61.9	61.9	59.2	64.4	63.1	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
	0	63.1	60.9	63.1	63.1	63.1	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
	-10	60.9	60.9	60.9	59.2	60.9	49.3	50.0	48.8	49.9	49.9
	-20	54.0	53.6	53.6	53.6	52.4	49.8	50.0	48.5	50.0	49.6
	-30	44.7	44.7	44.4	44.7	44.7	47.2	48.1	46.8	49.8	48.9
	-40	35.1	35.1	35.1	35.0	35.3	40.4	42.8	39.3	42.3	40.8
	-50	21.7	21.8	21.5	21.6	21.4	30.6	31.2	30.0	31.2	31.0



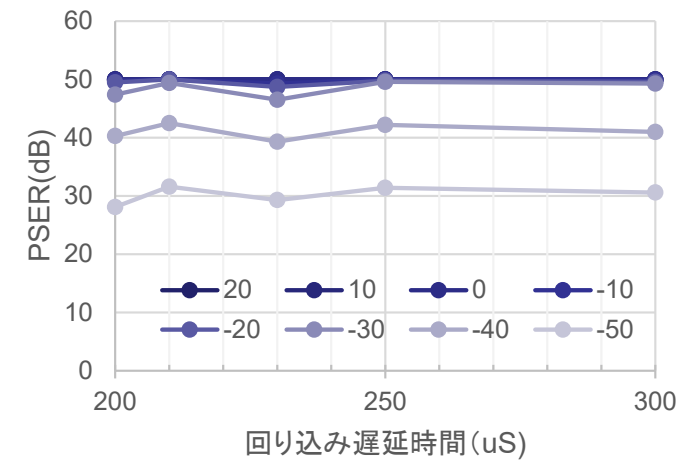
音源=Piano 周波数シフト+100Hz



音源=Piano 周波数シフト-100Hz



音源=Piano 周波数シフト±100Hz

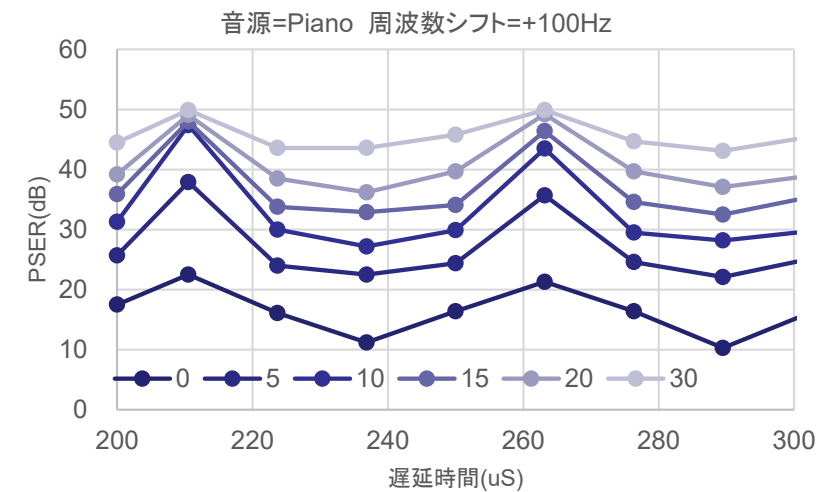
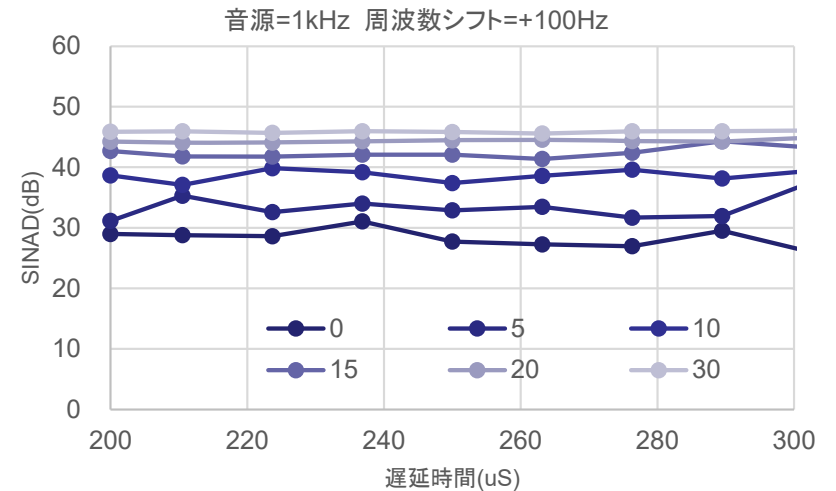
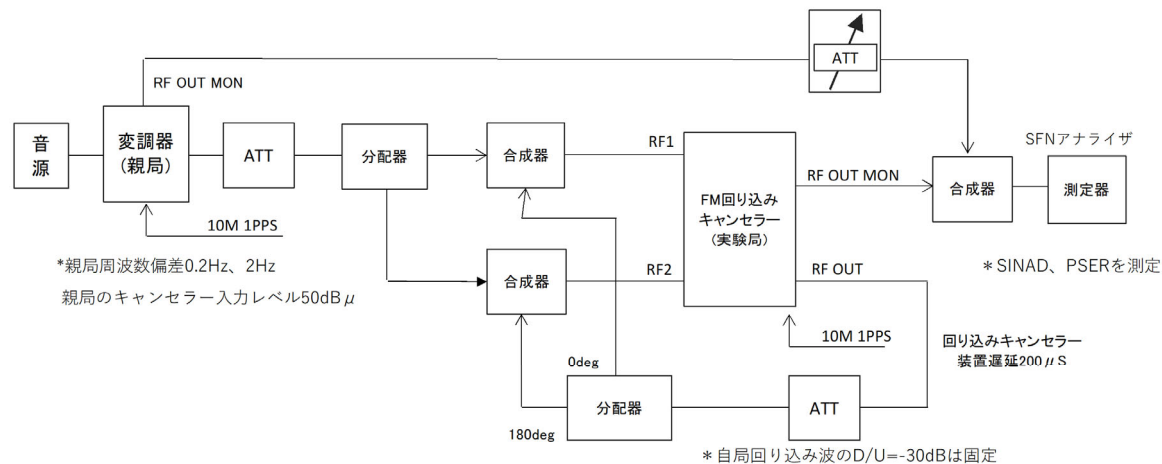


第4章 屋内試験 結果

(5)条件②の試験結果

周波数 シフト	実験局 D/U(dB)	音源=1kHz SINAD(dB)									
		実験局 遅延時間 (uS)									
		200.0	210.5	223.7	236.8	250.0	263.2	276.3	289.5	302.6	315.8
+100Hz	0	29.0	28.8	28.6	31.1	27.7	27.3	27.0	29.5	26.0	25.4
	5	31.1	35.3	32.6	34.0	32.9	33.5	31.7	31.9	37.6	34.7
	10	38.7	37.1	39.8	39.2	37.4	38.6	39.6	38.1	39.4	41.0
	15	42.7	41.8	41.8	42.1	42.1	41.4	42.4	44.3	43.2	42.5
	20	44.2	44.1	44.1	44.3	44.4	44.5	44.3	44.2	44.9	44.7
	30	45.9	45.9	45.7	46.0	45.8	45.6	45.9	46.0	46.1	46.0

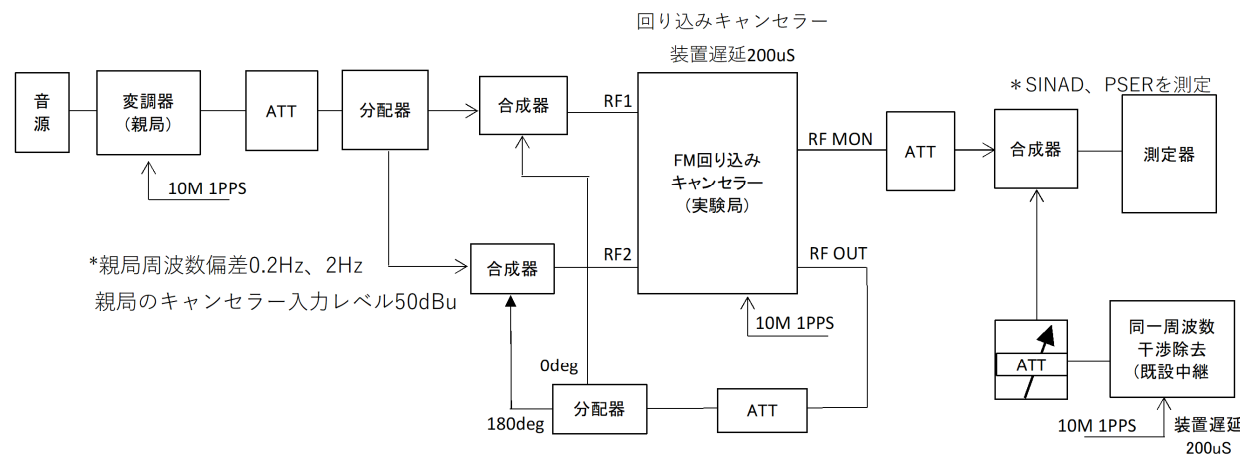
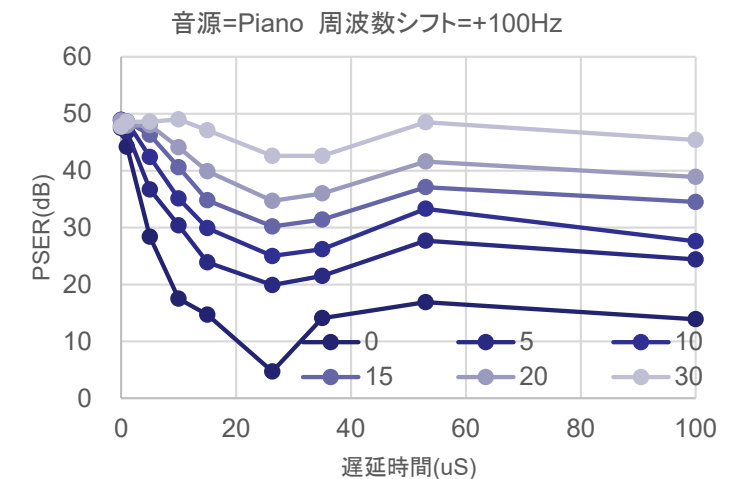
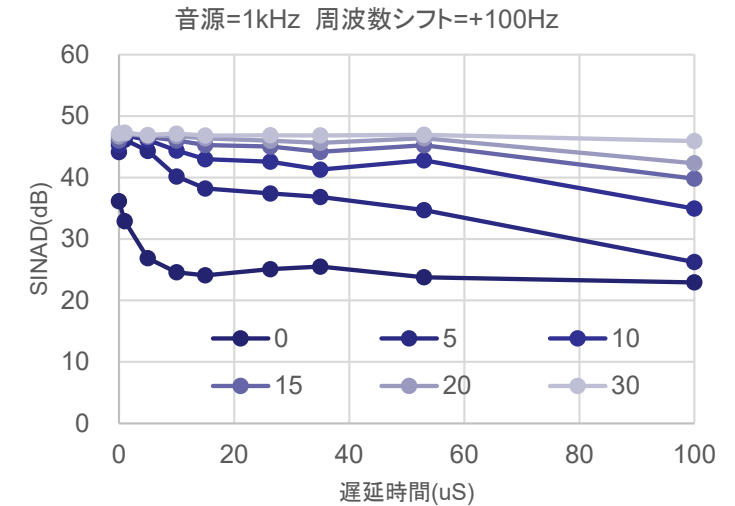
周波数 シフト	実験局 D/U(dB)	音源=Piano PSER(dB)									
		実験局 遅延時間 (uS)									
		200.0	210.5	223.7	236.8	250.0	263.2	276.3	289.5	302.6	315.8
+100Hz	0	17.5	22.5	16.1	11.2	16.4	21.3	16.4	10.3	16.3	22
	5	25.7	37.9	24	22.5	24.4	35.7	24.6	22.1	25.2	37.5
	10	31.3	47.4	30	27.2	29.9	43.5	29.5	28.2	29.8	42
	15	35.9	48	33.8	32.9	34.1	46.4	34.6	32.5	35.5	47
	20	39.2	49.1	38.5	36.2	39.7	49.2	39.7	37.1	39	48.7
	30	44.5	49.9	43.6	43.6	45.8	49.9	44.7	43.1	45.5	49.9



第4章 屋内試験 結果

(6)条件③の試験結果

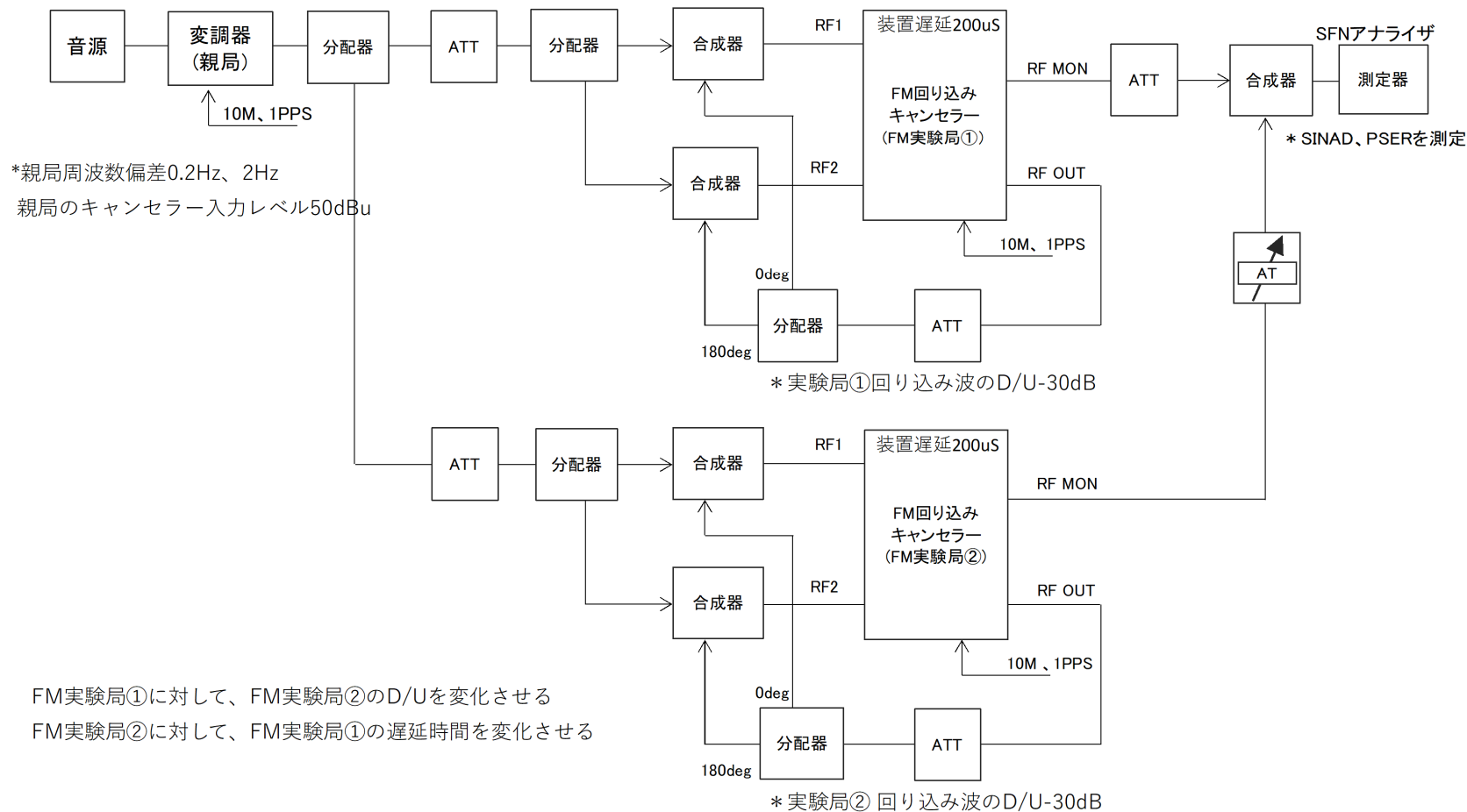
周波数 シフト	実験局 D/U (dB)	音源=1kHz SINAD(dB)									音源=Piano PSER(dB)								
		実験局 遅延時間 (uS)									実験局 遅延時間 (uS)								
		0	1	5	10	15	26.3	35	53	100	0	1	5	10	15	26.3	35	53	100
+100Hz	0	36.2	32.9	26.9	24.6	24.1	25.1	25.5	23.8	23.0	47.5	44.2	28.4	17.5	14.7	4.7	14.1	16.9	13.9
	5	44.2	46.1	44.3	40.2	38.2	37.4	36.8	34.7	26.3	48.9	46.8	36.7	30.4	23.9	19.9	21.5	27.7	24.4
	10	45.3	46.9	46.1	44.4	43.0	42.6	41.3	42.8	35.0	48.9	48.6	42.4	35.1	29.9	25.0	26.2	33.3	27.6
	15	46.0	47.1	46.6	46.0	45.3	45.0	44.2	45.2	39.8	47.9	48.6	46.3	40.6	34.8	30.2	31.4	37.1	34.5
	20	46.7	47.1	46.8	46.7	46.4	46.0	45.6	46.4	42.3	48.8	47.9	48.0	44.1	39.9	34.7	36.0	41.6	38.9
	30	47.2	47.3	46.9	47.1	46.8	46.9	46.9	47.0	46.0	47.7	48.6	48.6	49.0	47.1	42.6	42.6	48.5	45.4



* 実験局の回り込み波のD/U=-30dB固定。遅延時間を変化させる
既存中継局のレベルを変化させる

第4章 屋内試験 結果

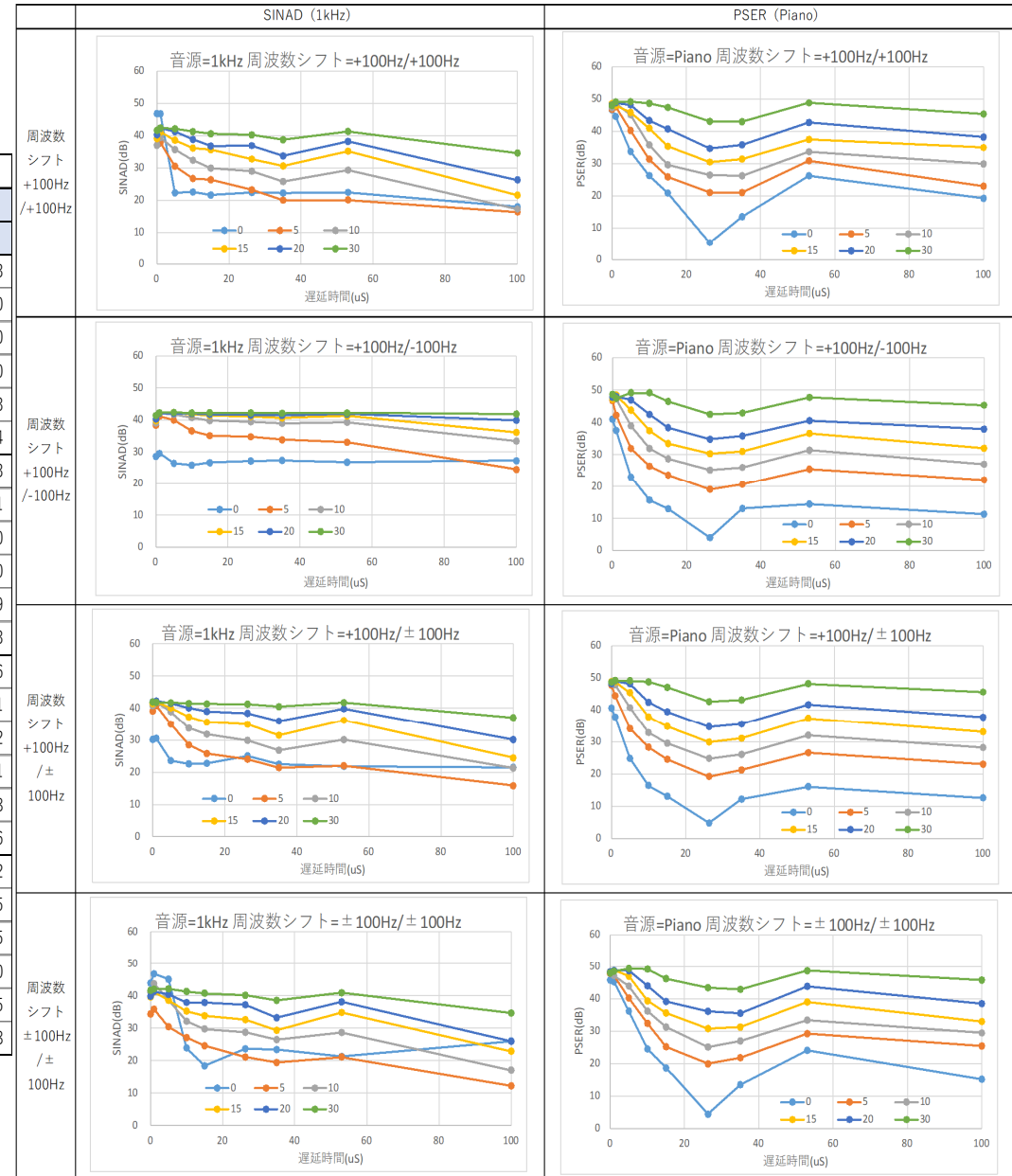
(7)-1 条件④の試験結果（系統図）



第4章 屋内試験 結果

(7)-2 条件④の試験結果

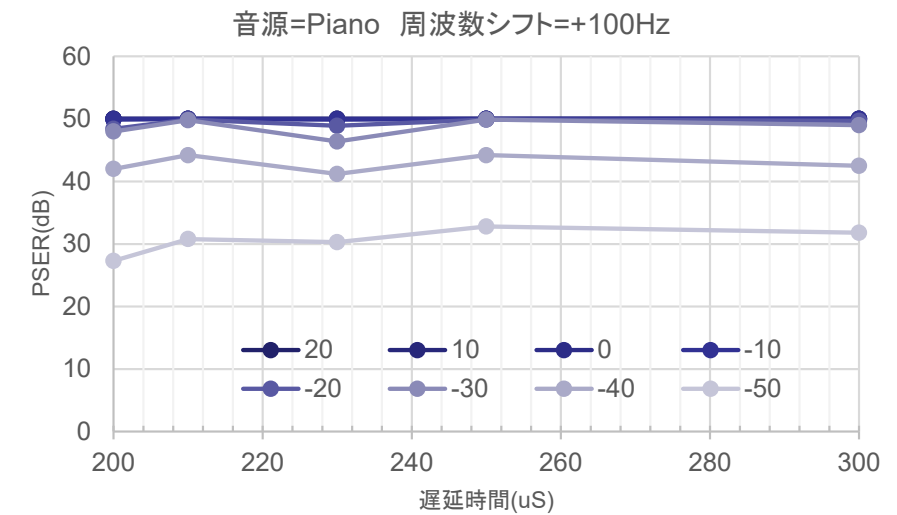
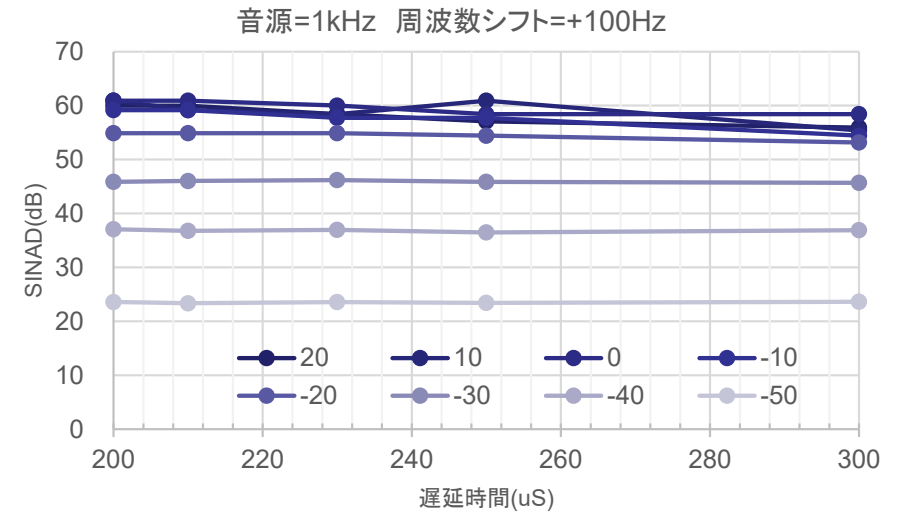
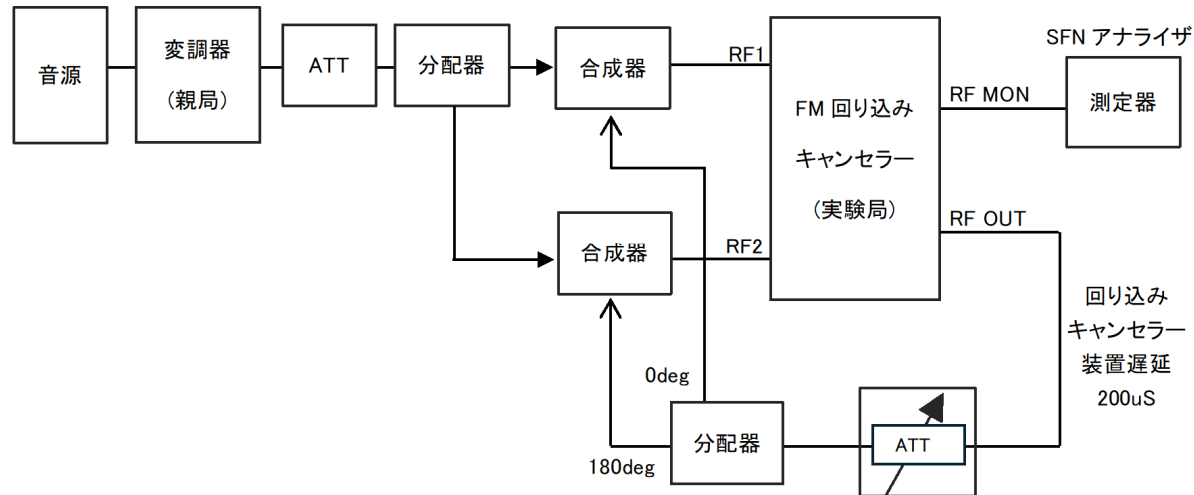
周波数 シフト	実験局② D/U (dB)	音源=1kHz SINAD(dB)										音源=Piano PSER(dB)									
		実験局② 遅延時間 (uS)										実験局② 遅延時間 (uS)									
		0	1	5	10	15	26.3	35	53	100		0	1	5	10	15	26.3	35	53	100	
実験局① +100Hz 実験局② +100Hz	0	46.8	46.8	22.4	22.6	21.7	22.4	22.2	22.4	18.0		46.7	44.6	33.8	26.3	20.9	5.4	13.5	26.2	19.3	
	5	37.0	37.9	30.5	26.7	26.4	23.3	20.1	20.1	16.4		46.8	47.7	40.3	31.4	25.9	21.1	21.1	30.9	23.0	
	10	37.1	39.4	35.7	32.4	29.9	29.0	25.8	29.4	17.3		47.3	48.7	45.1	35.8	29.6	26.5	26.2	33.7	30.0	
	15	39.1	41.1	38.6	36.1	35.7	32.8	30.6	35.2	21.6		48.6	48.0	45.9	41.0	35.4	30.5	31.4	37.5	35.0	
	20	40.3	42.3	41.3	38.9	36.9	37.0	33.8	38.3	26.3		48.2	48.8	48.2	43.3	40.7	34.7	35.8	42.8	38.3	
実験局① +100Hz 実験局② -100Hz	30	41.6	42.4	42.1	41.3	40.6	40.3	38.8	41.3	34.6		48.0	49.1	49.2	48.7	47.4	43.1	43.0	48.8	45.4	
	0	28.7	29.6	26.5	25.9	26.7	27.2	27.3	26.9	27.3		40.9	37.5	23.0	15.7	13.0	4.0	13.1	14.4	11.3	
	5	38.3	41.1	39.9	36.5	35.1	34.8	33.8	33.0	24.6		46.8	42.2	31.9	26.4	23.6	19.0	20.6	25.4	22.1	
	10	39.0	42.1	41.7	40.7	39.8	39.5	38.9	39.3	33.4		47.6	47.2	38.9	31.9	28.7	25.2	26.0	31.4	27.0	
	15	39.8	42.3	42.3	41.8	41.4	41.0	40.7	41.3	36.1		47.1	48.5	43.7	37.4	33.4	30.3	30.9	36.5	32.0	
実験局① +100Hz 実験局② ±100Hz	20	40.3	42.1	42.1	41.9	41.7	41.5	41.4	41.9	39.9		47.8	48.0	47.0	42.5	38.3	34.8	35.8	40.5	37.9	
	30	41.4	42.3	42.3	42.2	42.3	42.2	42.1	42.2	41.8		48.7	47.4	49.1	49.1	46.4	42.5	42.9	47.7	45.3	
	0	30.1	30.6	23.5	22.5	22.7	25.0	22.5	21.8	21.4		40.7	37.9	24.8	16.4	13.2	4.9	12.2	16.1	12.6	
	5	39.2	40.9	35.0	28.5	25.8	24.0	21.4	22.0	15.8		47.8	44.5	34.2	28.3	24.6	19.2	21.3	26.6	23.1	
	10	40.9	42.0	38.9	33.8	31.8	29.8	26.8	30.1	21.3		48.4	47.9	40.8	32.9	29.6	24.8	26.1	32.0	28.2	
実験局①② ±100Hz	15	41.4	42.0	40.1	37.3	35.6	34.9	31.5	36.2	24.5		48.9	48.8	45.4	37.9	34.8	29.9	31.1	37.4	33.1	
	20	42.1	42.3	41.5	40.1	39.0	38.4	35.9	39.8	30.1		48.2	49.1	48.2	42.5	39.5	34.7	35.6	41.7	37.8	
	30	41.9	41.9	41.8	41.6	41.4	41.3	40.6	41.8	37.0		48.7	49.2	49.1	48.8	47.1	42.6	43.1	48.2	45.6	
	0	43.9	46.8	45.1	23.9	18.4	23.7	23.4	21.3	26.0		45.8	45.3	36.2	24.5	18.7	4.5	13.5	24.1	15.2	
	5	34.3	35.8	30.4	27.2	24.6	21.1	19.4	21.1	12.2		47.8	47.1	40.3	32.4	25.2	20.0	21.8	29.3	25.5	
	10	41.1	43.7	38.7	32.1	29.7	28.7	26.5	28.7	17.0		48.4	47.1	43.9	36.2	31.3	25.1	27.0	33.4	29.5	
	15	39.5	41.2	38.6	35.2	33.8	32.7	29.3	34.8	22.9		48.1	48.8	47.0	39.4	35.6	30.8	31.3	39.0	33.0	
	20	39.8	41.3	40.5	37.9	37.9	37.2	33.2	38.2	25.9		48.2	48.8	48.7	44.0	39.2	36.1	35.5	43.8	38.5	
	30	41.6	42.1	42.1	41.3	40.7	40.2	38.6	41.0	34.7		48.0	48.5	49.3	49.2	46.2	43.4	42.9	48.7	45.8	



第4章 屋内試験 結果

(8) 条件⑤の試験結果 (系統図)

周波数 シフト	自局 D/U(dB)	音源=1kHz SINAD(dB)					音源=Piano PSER(dB)				
		自局回り込み波 遅延時間 (uS)					自局回り込み波 遅延時間 (uS)				
		200	210	230	250	300	200	210	230	250	300
+100Hz	20	60.0	60.0	58.4	57.1	55.9	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
	10	60.9	59.2	58.4	60.9	55.4	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
	0	60.9	60.9	60.0	58.4	58.4	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
	-10	59.2	59.2	57.7	57.7	54.4	49.9	50.0	49.9	50.0	50.0
	-20	54.9	54.9	54.9	54.4	53.2	48.4	49.9	48.9	49.9	49.7
	-30	45.8	46.0	46.2	45.8	45.7	48.0	49.8	46.4	49.9	49.0
	-40	37.1	36.8	37.0	36.5	36.9	42.0	44.2	41.2	44.2	42.5
	-50	23.6	23.3	23.6	23.4	23.6	27.3	30.8	30.3	32.8	31.8



第4章 屋内試験 考察

屋内試験結果からの考察

➤ FM中継局 – FM実験局を想定した屋内試験（条件①）

- ・R F入力端において、希望波とのD/Uが -50 dB （回り込み波が 50 dB 高い）でも発振せずにキャンセリング可能であることを確認。
- ・P S E Rの値としては、希望波とのD/Uが -40 dB 以内であればP S E Rは 40 dB 以上を確保できることを確認。
- ・ただし、希望波の端子電圧が低いとキャンセルできない成分が不要波となって送信波に現れる可能性があるため注意が必要。

➤ FM中継局 – FM実験局を想定した屋内試験（条件②：親局電波とキャンセラー局の電波がエリアで合成）

- ・D/U = 0 dB だと、P S E Rは 20 dB で音質評価2。D/U = 5 dB だとP S E Rは 25 dB で音質評価3。
- ・D/U = 10 dB だと、P S E Rは 30 dB で音質評価4。
- ・遅延時間差が $200\mu\text{s}$ 以上あり、周波数も 100 Hz シフトしていることから親局との電波はできるだけD/Uを確保する必要がある。

➤ 「FM中継局 – FM中継局1」及び「FM中継局2 – FM実験局（FM回り込みキャンセラー装置が設置された実験局）」を想定した屋内試験（条件③：同期放送局とキャンセラー局の電波がエリアで合成）

- ・遅延時間差が少ない場合（ $5\mu\text{s}$ 以内）では、D/U = 0 dB でもP S E R・音質ともに良好。
- ・遅延時間差が $10\mu\text{s}$ 以上では、D/U = 0 dB だとP S E Rは 20 dB 以下となり音質もよくない。D/Uは 10 dB 以上あると評価4。
- ・傾向としては、同期放送局同士の電波の合成に近いが「FM回り込みキャンセラー」の電波は周波数が 100 Hz シフトしており、遅延時間差 = $0\mu\text{s}$ でも同期放送局同士の合成よりも若干音質は劣化傾向となった。

➤ FM中継局から多方向（「FM中継局 – FM実験局1」及び「FM中継局 – FM実験局2」）で「FM回り込みキャンセラー装置」が設置された実験局を想定した屋内試験（条件④：キャンセラー局同士がエリアで合成）

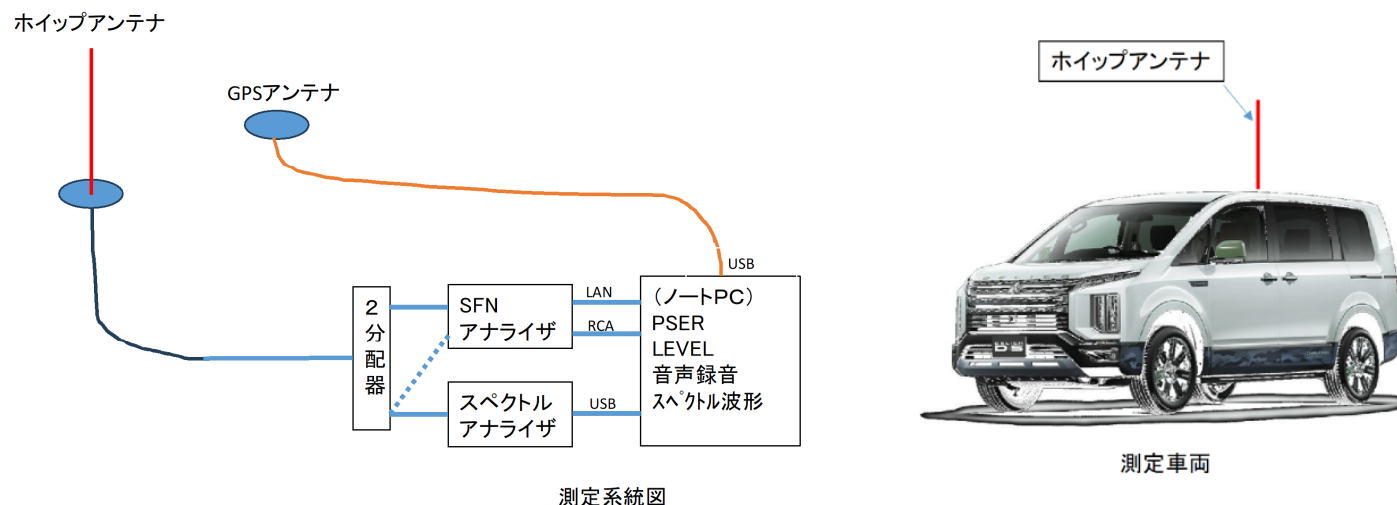
- ・同じ周波数シフトの組み合わせでは、同期放送局同士の組み合わせと同等（周波数偏差、遅延時間が一致するため）となった。
- ・異なる周波数シフトの組み合わせでは、遅延時間が少なく、D/Uの差も少ない状況では同じ方式の組み合わせよりも音質は劣化傾向にある。

第5章 屋外試験

第5章 屋外試験の実施

屋外試験の概要

- (1) 「FM中継局－FM実験局」を活用した屋外試験（条件②の確認）
 - ・K R Y 豊北実験局とK R Y 長門局の電波が交差するエリアでの試験
 - ・ $D/U = 10 \text{ dB}$ 以内となるエリアを調査し、P S E R や音質の確認を実施
 - ・周波数シフトを3パターン変化させて、比較測定を行う
- (2) 「FM中継局－FM中継局 1」及び「FM中継局 2－FM実験局（FM回り込みキャンセラー装置が設置された実験試験局）」を活用した屋外試験（条件③の確認）
 - ・K R Y 豊北実験局＋K R Y 豊田局の電波が交差するエリアでの試験
 - ・ $D/U = 10 \text{ dB}$ 以内となるエリアを調査し、P S E R や音質の確認を実施
 - ・周波数シフトを3パターン変化させて、比較測定を行う
- (3) FM中継局から多方向（「FM中継局－FM実験局 1」及び「FM中継局－FM実験局 2」）で「FM回り込みキャンセラー装置」が設置された実験試験局を活用した屋外試験（条件④の確認）
 - ・K R Y 豊北実験局（既存）＋K R Y キャンセラーじっけん 3（新設：雨乞岳）を活用した試験
 - ・山口大学構内で小規模の実験局を3局設置し3局の電波が交差するエリアでの試験
 - ・ $D/U = 10 \text{ dB}$ 以内となるエリアを調査し、P S E R や音質の確認を実施
 - ・周波数シフト、遅延時間、 D/U などパラメータを変化させて試験を実施



第5章 屋外試験の実施

屋外試験の使用機材

(ア) S F Nアナライザー：MODEL 5775A（日本通信機 株式会社）



(イ) リアルタイムスペクトラムアナライザー：RSA3000（R I G O L）



(ウ) アンテナ：303WA-2（アベックスラジオ）



(エ) G P S アンテナ：GR-7BN、BU-353N5 など各種



(オ) ノートパソコン：一般的な WindowsPC



ApexRadio 303WA-2

Superior low noise antenna for LW-MW-SW

303WA-2 は、30kHz～30MHz を混変調や相互変調の心配なく、低雑音で受信するために開発設計されたコンパクトな受信アンテナです。設置面積が非常に小さく、軽量ですのでベランダ等への設置にも適しています。開梱されましたら、次の表に従って各部品の数量を確認してください。

部 品 名	数 量
アンテナ本体（給電部～下部ジョイント、約 600 mm）	1
中間エレメント（上部ジョイント付 約 600 mm）	1
上部エレメント（約 600 mm）	1
M 型中継コネクタ M-A（J-J）	1
六角ナット（M 型コネクタ用）	2
マスト取付用 L 金具	1
U 字ボルト	1
ナット（U 字ボルト用）、スプリングワッシャー、平ワッシャー	各 2
同軸ケーブル（MP-BNCP）	1
防水用自己融着テープ	1
ジョイント締付用六角レンチ	1
取扱説明書	本紙

【設置】

- 屋外のなるべく周囲のひらけている場所（手すりなどに、図を参考に基台部（L 金具）
- アンテナ本体の下部ジョイント部に中間エレメントを装着、上部ジョイントに上部エレメントを装着し、それぞれ（上部、下部）のジョイントを六角レンチで、しっかりと締付けます。
- L 金具の穴（16.5 φ）に、M 型中継コネクタ M-A（J-J）を六角ナットで取付けます。
- M 型中継コネクタの上側にアンテナ本体をねじ込んで、しっかりと固定します。このとき、アンテナが垂直になるように確認し、垂直でない場合には L 金具の固定を調節して垂直になるようにしてください。
- 同軸ケーブル（M-P 側）を M 型中継コネクタの下側に接続し、防水用自己融着テープで防水処理を行います。
- 同軸ケーブル（BNC-P 側）を適切に屋内に引き込むなどして受信機に接続します。受信機側のコネクタが BNC 型でない場合には、変換コネクタなどをご用意ください。

この素子を取り外して 2 段で使用

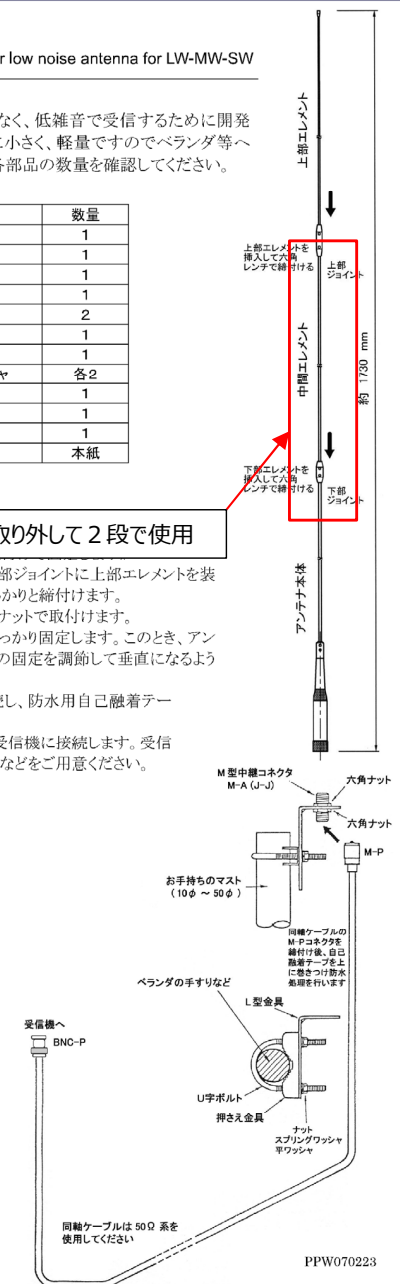
【ご注意】

このアンテナは、受信専用です。送信用として使用することはできません。送信しようとすると内部回路が破壊されますので、絶対に送信しないでください。

高所作業の際は落下事故やケガ防止の為、安全帽、安全帯を使用してください。アンテナが万一倒れたり部品が落下しても人物や構造物などに危害を与えない場所に設置してください。風などによる振動で取付ネジや金具類が緩まないように、しっかりと締付け固定してください。また定期的なゆるみがないかを確認して必要に応じて増し締めをしてください。なお、303WA を受信アンテナとしての用途以外には使用しないでください。

改良の為、予告なく外観、仕様を変更することがあります。

株式会社 アベックスラジオ

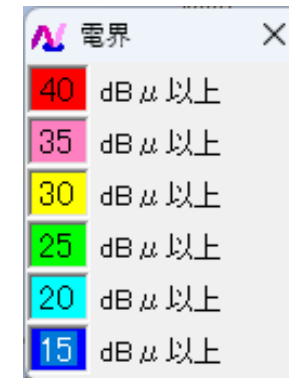


第5章 屋外試験の実施

移動測定における端子電圧とPSEERの評価基準

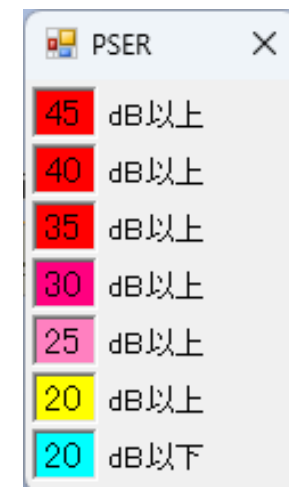
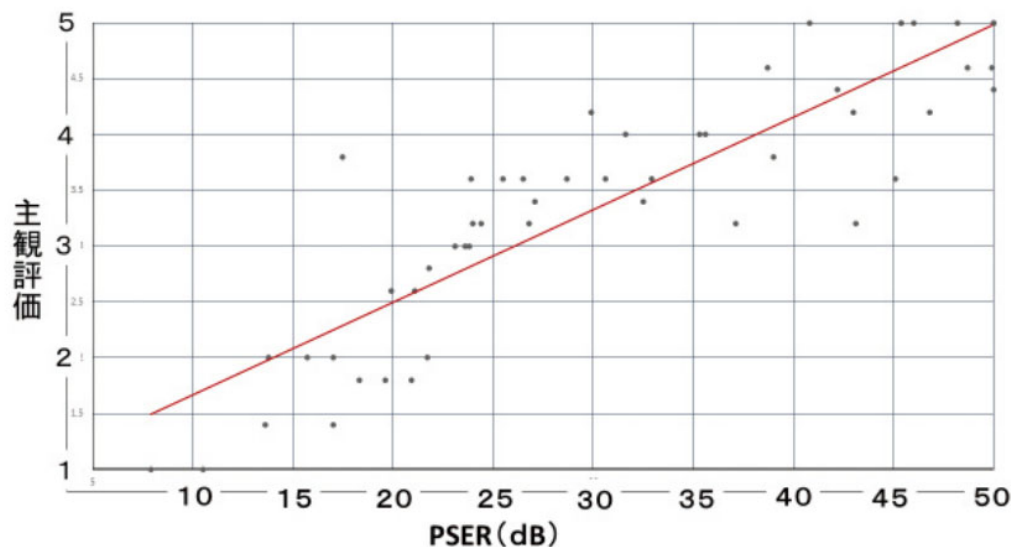
(1) 端子電圧レベルの地図表示

地図上へ端子電圧の測定値もしくは電界強度に換算した値をマッピングする場合は、必要に応じてアイコンなどの色を設定する。
今回は端子電圧表示とし、色の表現は右図の通りとした。



(2) PSEERと音質評価の関係

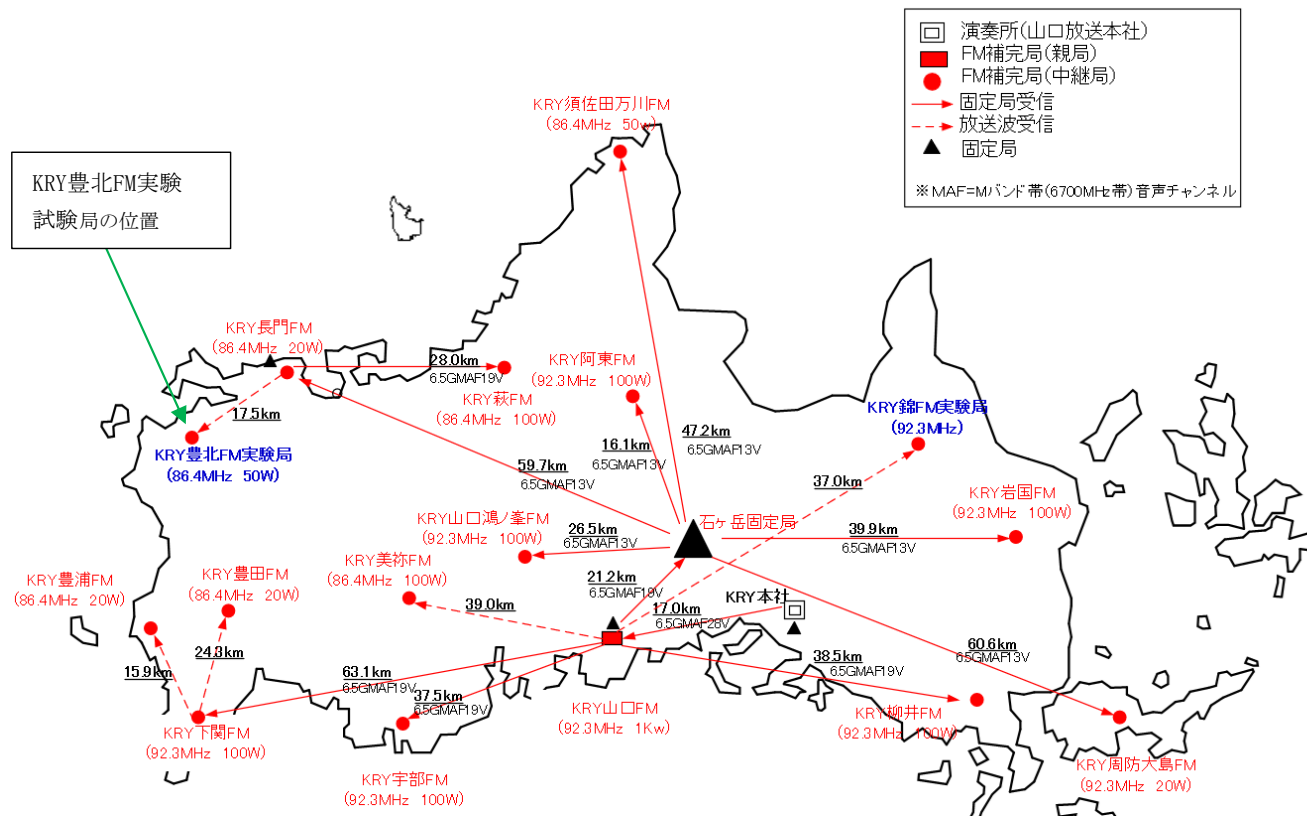
PSEERと音質の主観の関係については、映像情報メディア学会などで報告されている「FM同期放送用SFNフィールドアナライザの開発と実用化」の論文内で以下のグラフが紹介されている。



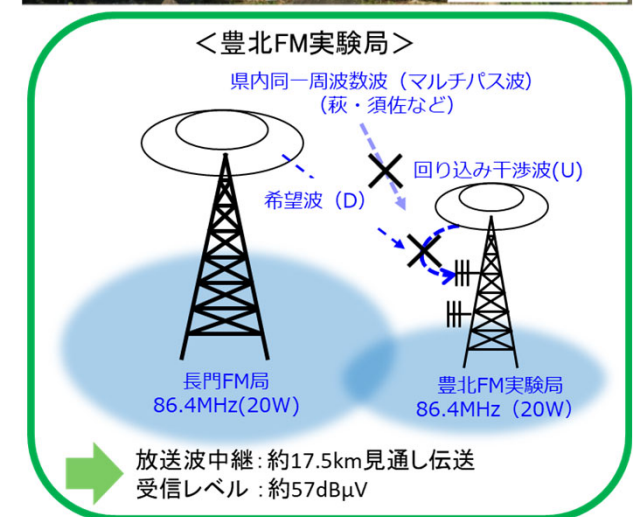
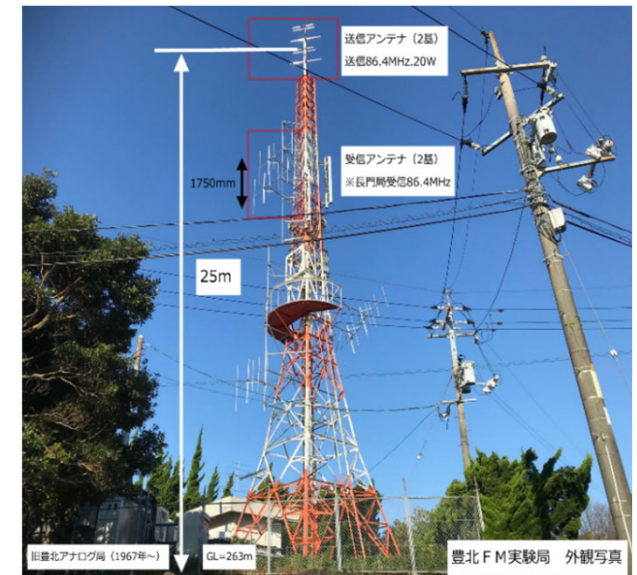
第5章 屋外試験の実施

KRY※豊北実験試験局の活用

山口放送株式会社は現在、基幹局を含めて14局のFM補完局を開設している。「左下図」は山口県内におけるFMネットワークの系統図を示す。瀬戸内海側は92.3MHz、日本海側は86.4MHzで同期放送を実施中である。また、KRY豊北実験局、及びKRY錦実験局にて「FM回り込みキャンセラー装置」による実験試験局を設置中。本検討会では、KRY豊北実験局を活用した屋外試験を行った。



※山口放送株式会社を略称の「KRY」と併記。

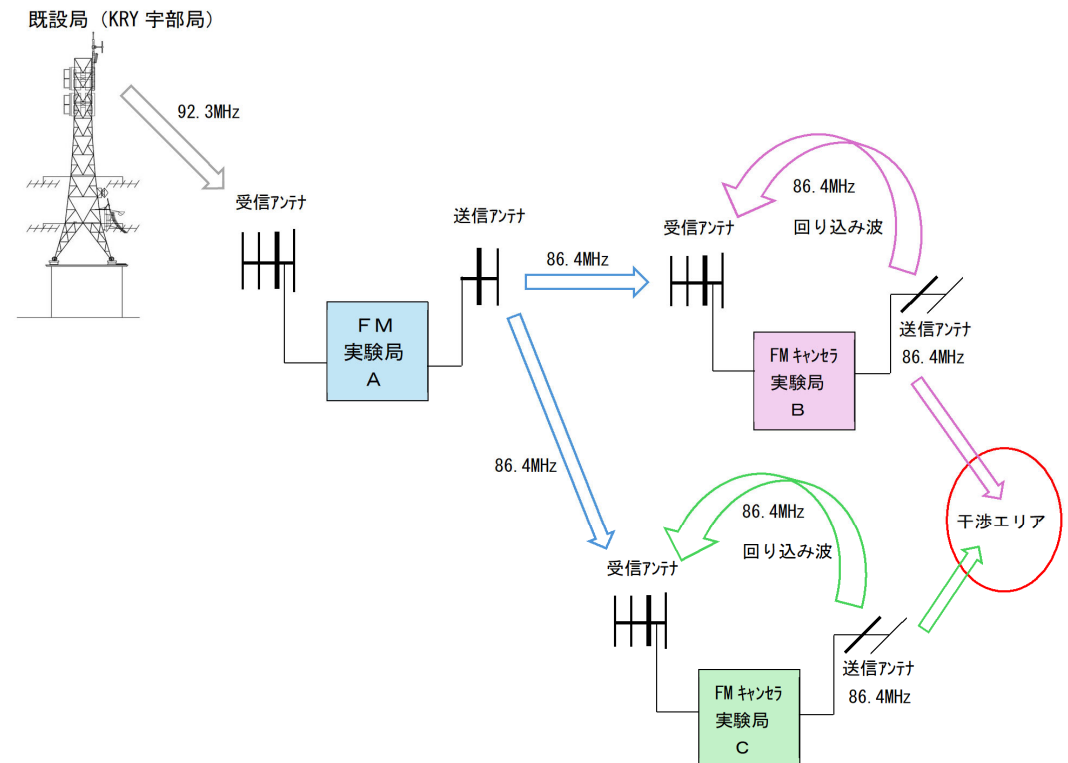


第5章 屋外試験の実施

実験試験局の申請

本検討会で試験を行うために申請を行った実験試験局は計3局である。実験試験局の諸元一覧を以下に示す。

	実験局A (FM中継局)	実験局B (FMキャンセラー-中継局)	実験局C (FMキャンセラー-中継局)	
識別信号	KRYきゃんせら じっけん1	KRYきゃんせら じっけん2	KRYきゃんせら じっけん3	
変調方式	FM	FM	FM	
通信方式	TN1H	TN1H	TN1H、TN1C	
周波数	86.4MHz	86.4MHz	86.4MHz	
電波の形式	F3E、F8E	F3E、F8E	F3E、F8E	
占有周波数帯域幅	200kHz以内	200kHz以内	200kHz以内	
定格出力	0.1mW~1mW	0.1mW~1mW	0.1mW~1mW	1W~20W
低下方法	可変ATT	可変ATT	可変ATT	固定ATT 3,6,10,13
空中線利得	2	2	2	3
給電線損失	0.7	0.7	0.7	0.3
その他の損失	0.5	0.5	0.5	0
実効輻射電力	1.2mW	1.2mW	1.2mW	37w
送信空中線形式 偏波	2素子八木 水平・垂直	2素子八木 水平・垂直	2素子八木 水平・垂直	FLアンテナ1段1面 水平・垂直
周波数シフト	なし	+100Hz,-100Hz, ±100Hz	+100Hz,-100Hz,±100Hz	
無線設備の 製造業者名	日本通信機 株式会社	日本通信機 株式会社	日本通信機株式会社	



山口大学での実験イメージ

第5章 屋外試験の実施（山口大学）

電波の発射方向イメージ



第5章 屋外試験の実施（山口大学）

機材の設置状況

実験局 A



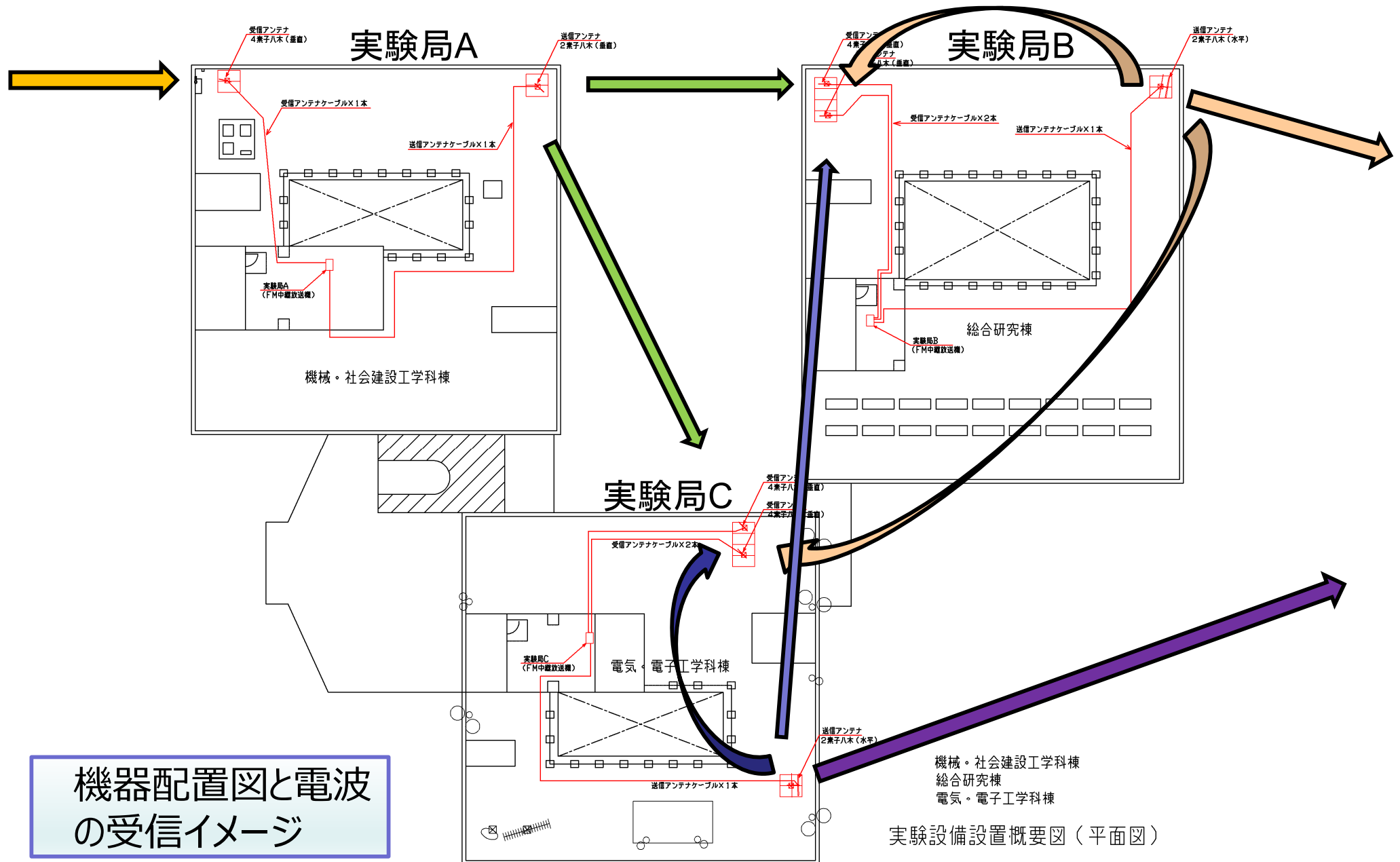
実験局 B



実験局 C



第5章 屋外試験の実施（山口大学）



第5章 屋外試験の実施（山口大学）

屋外実験の測定地点とグラフの横軸イメージ

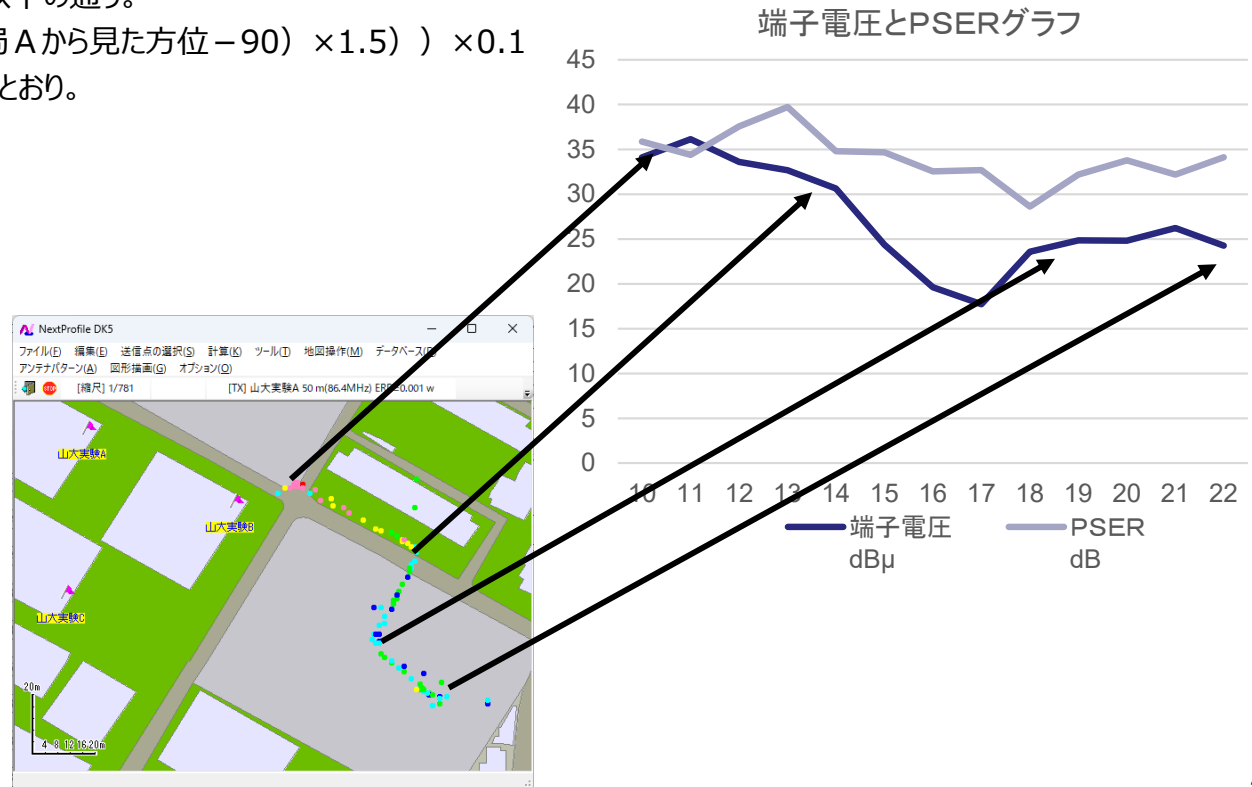
山口大学に設置した実験試験局では、①親局と「FMキャンセラー 1」間のD/U分布及びPSE Rの確認、②「FMキャンセラー 1」と「FMキャンセラー 2」のD/U分布やPSE Rの確認を行い、公開実験の基礎データを取得した。実験局 Aは周波数変換を行う「FM中継局」で、実験局 B・実験局 Cの親局としての役割となる。実験局 Bと実験局 Cは「FM回り込みキャンセラー局」となる。

周波数の送受信関係は以下のとおり。

- ・A = 実験局 A（受信 92.3 MHz（宇部V受信）、送信 86.4 MHz、V偏波）出力 1 mW
- ・B = 実験局 B（受信 86.4 MHz（実験局 A受信）、送信 86.4 MHz）出力 1 mW
- ・C = 実験局 C（受信 86.4 MHz（実験局 A受信）、送信 86.4 MHz）出力 1 mW

調査地点については、実験局の近くに教職員・学生用の駐車場があり、そちらを利用した。経路が直線ではないため、グラフにまとめる際には距離と角度を考慮した計算により横軸を設定した。横軸の計算は以下の通り。

・横軸の数値：（実験局 Aからの距離 + （実験局 Aから見た方位 - 90）×1.5）×0.1
上記式によって得られる地図上の位置の目安は下図のとおり。

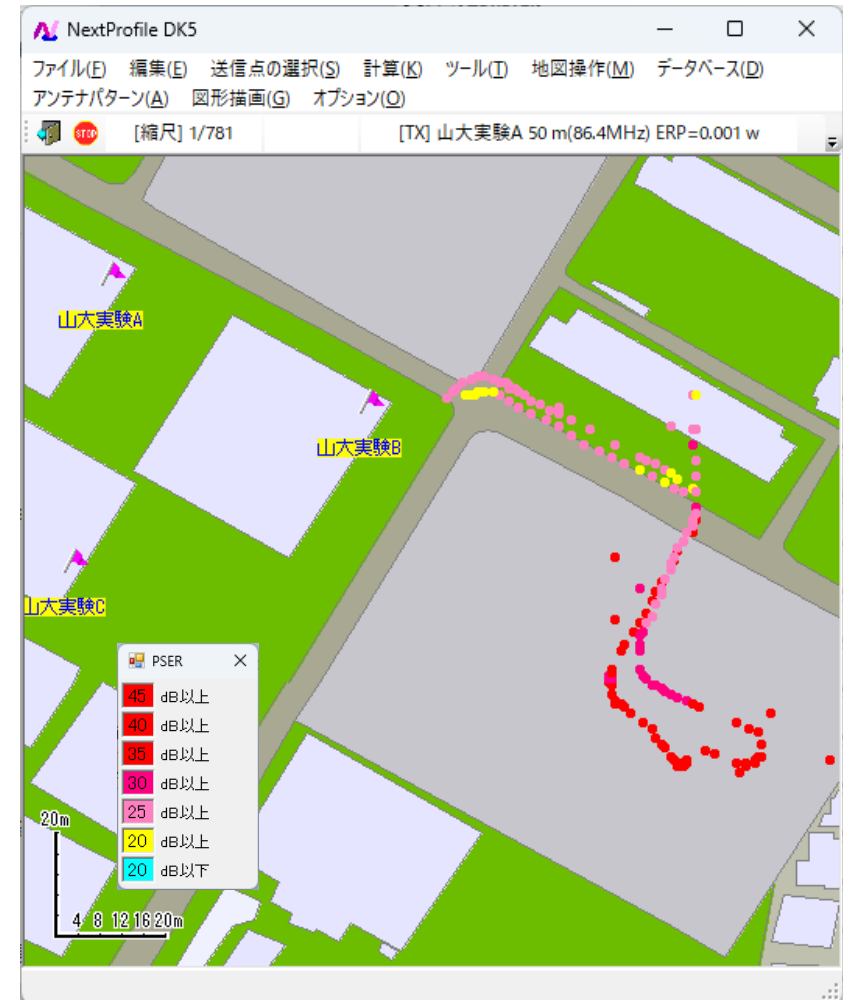


第5章 屋外試験の実施（山口大学）

端子電圧・PSER測定データ（地図に合成）



端子電圧の分布を地図上に色分けして表示した例

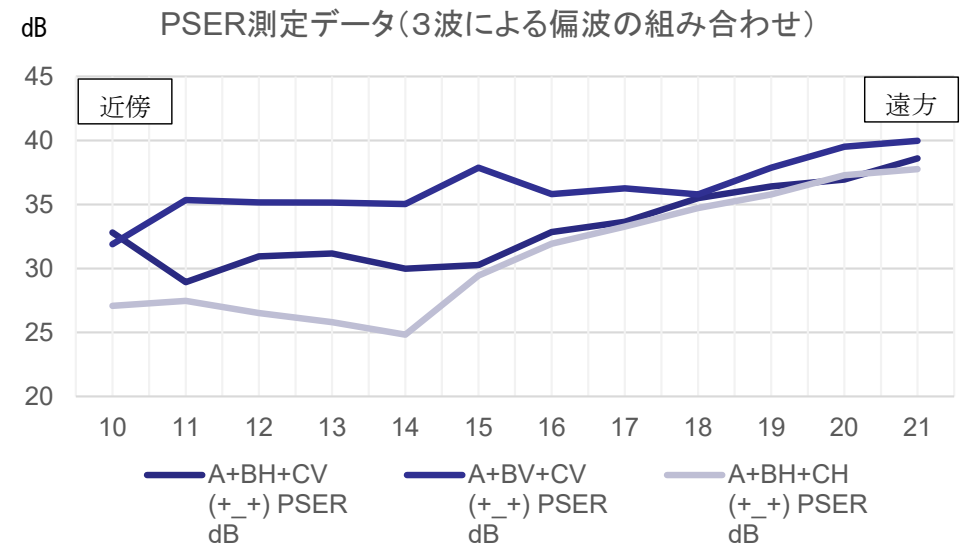
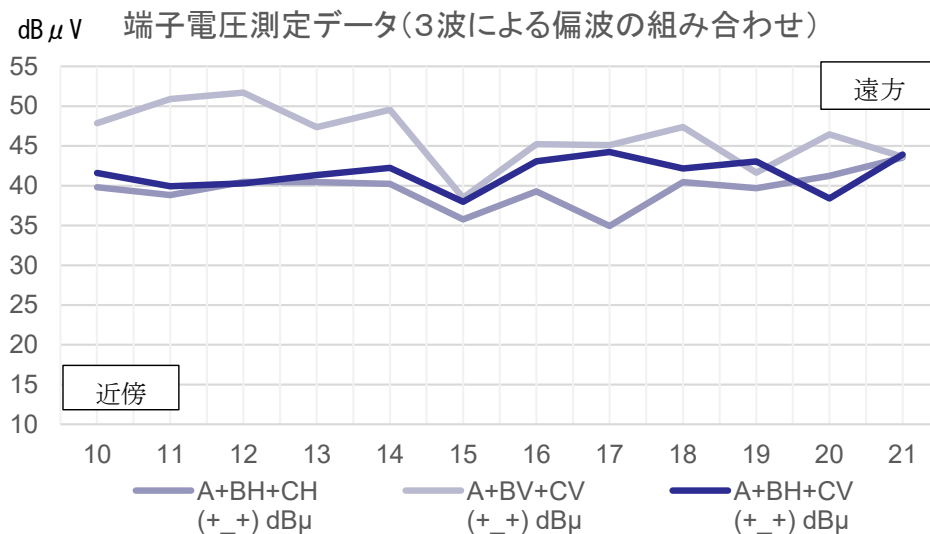
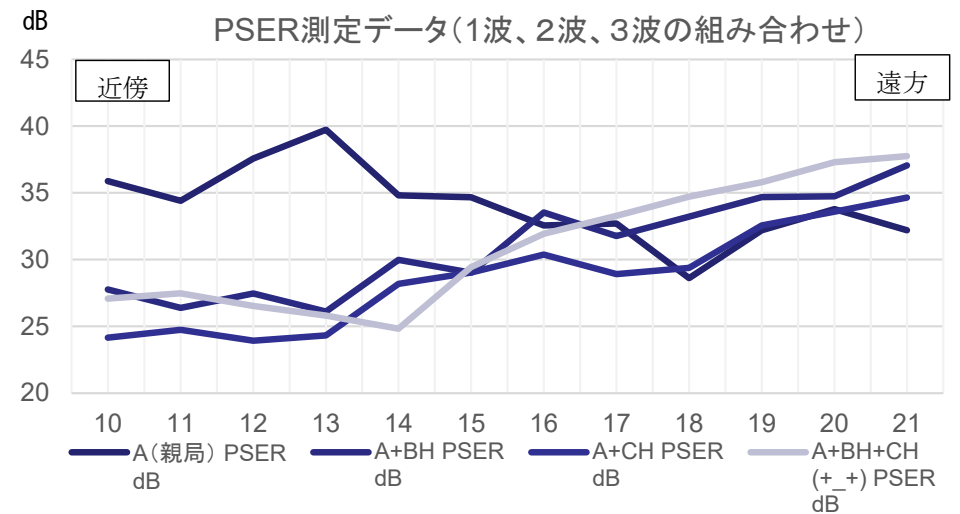
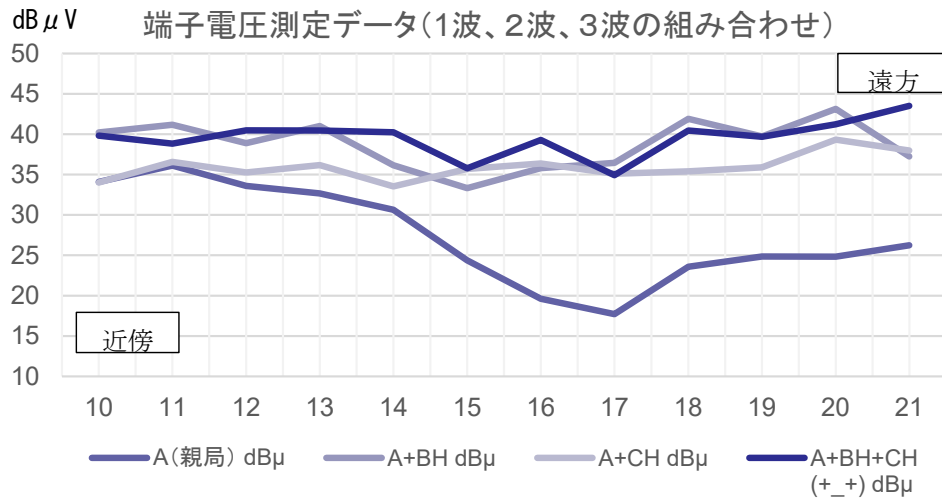


P S E Rの分布を地図上に色分けして表示した例

車両にアンテナや測定器を搭載し、移動しながら測定

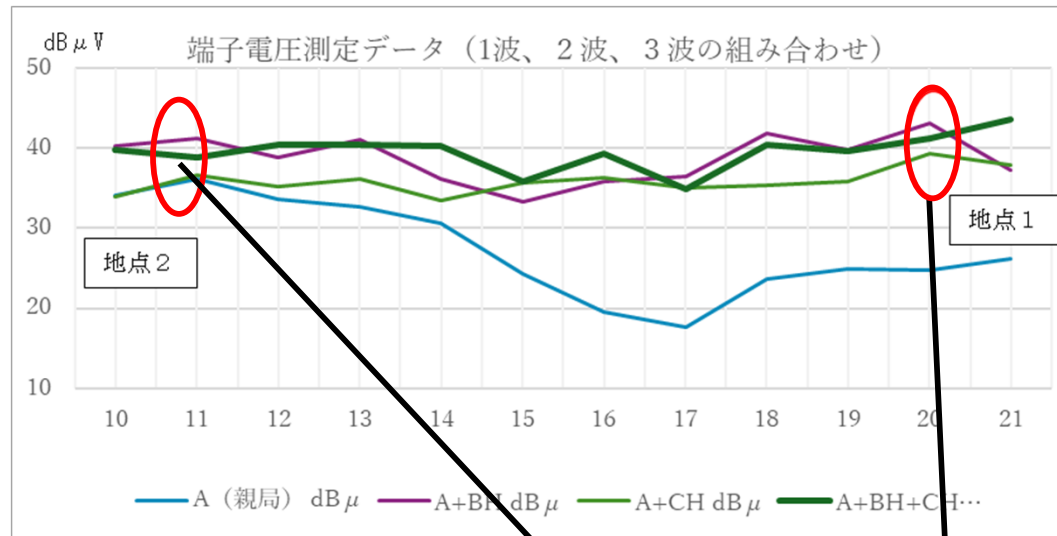
第5章 屋外試験の実施（山口大学）

屋外実験の測定結果（1）



第5章 屋外試験の実施（山口大学）

調査地点の選定

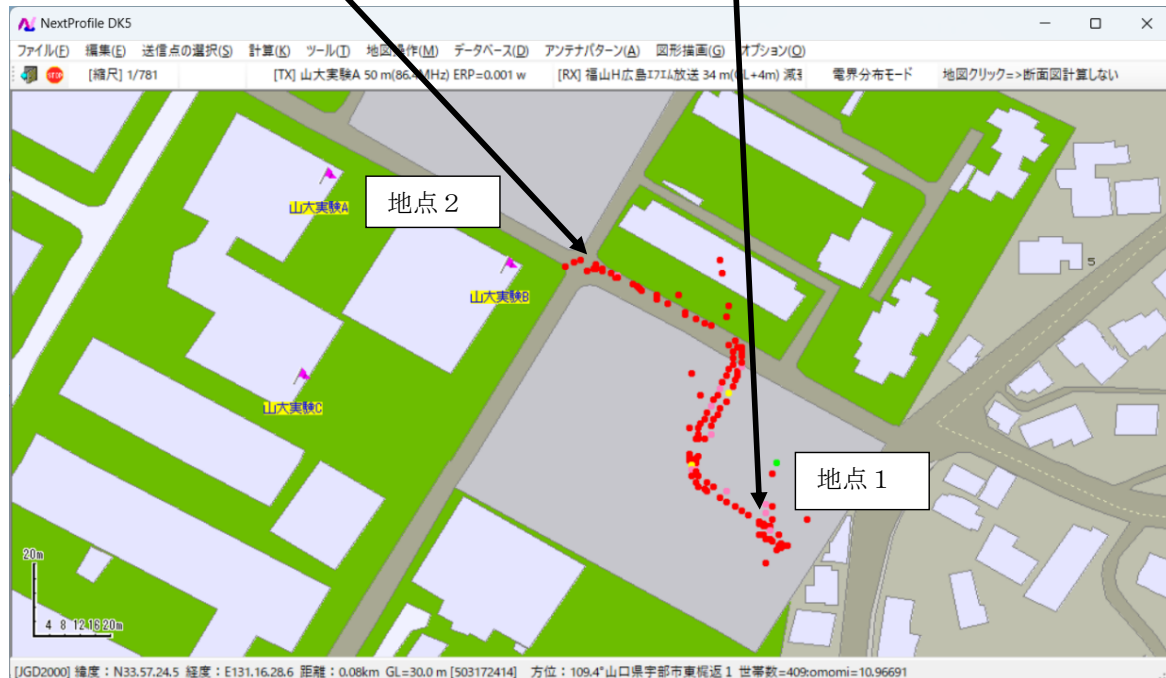


地点1：実験局Bと実験局Cの等電界地点

実験局Bと実験局Cの端子電圧がほぼ同等で、実験局A（親局）の端子電圧が低いポイントを地点1とし、D/Uや遅延時間など変化させて「条件④」を確認する試験を実施した。また周波数シフト方式を各種組み合わせ、音質を確認した。

地点2：親局である実験局Aと、実験局Bの端子電圧がほぼ同等の地点

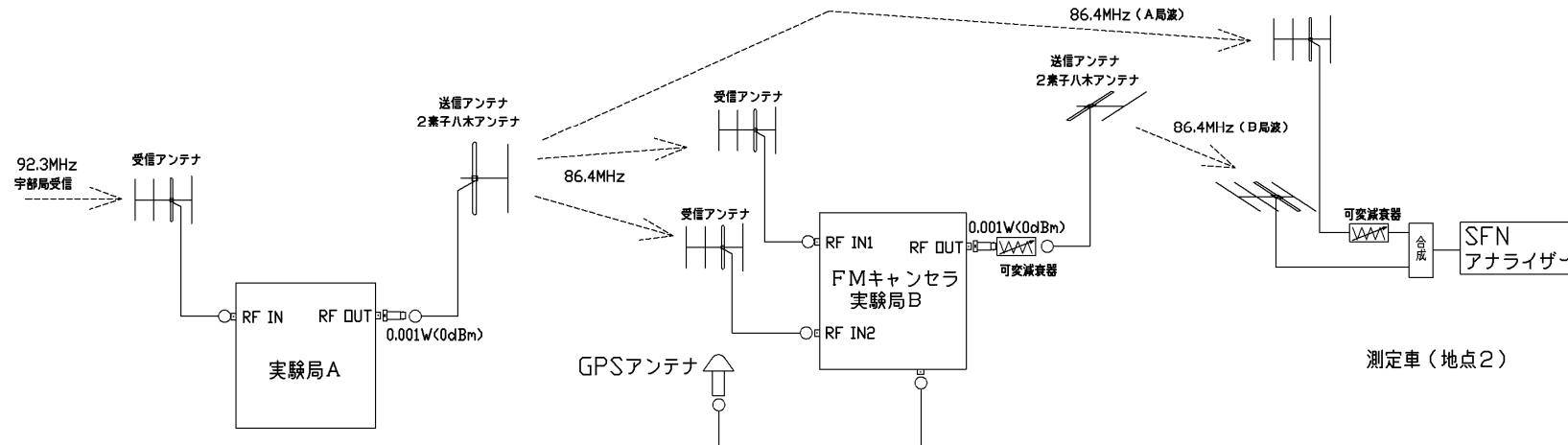
親局である実験局Aと、「回り込みキャンセラー装置」の実験局Bの端子電圧がほぼ同等のポイントを地点2とし、D/Uや遅延時間など変化させて「条件②」を確認する試験を実施した。



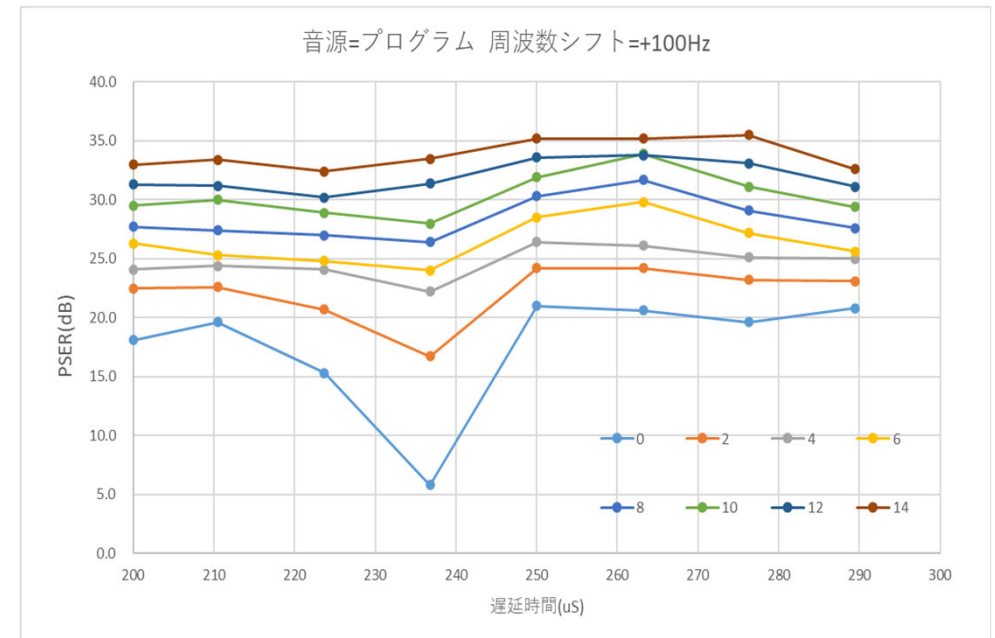
公開実験の調査ポイント選定

第5章 屋外試験の実施（山口大学）

屋外実験の測定結果（２）：条件②の確認

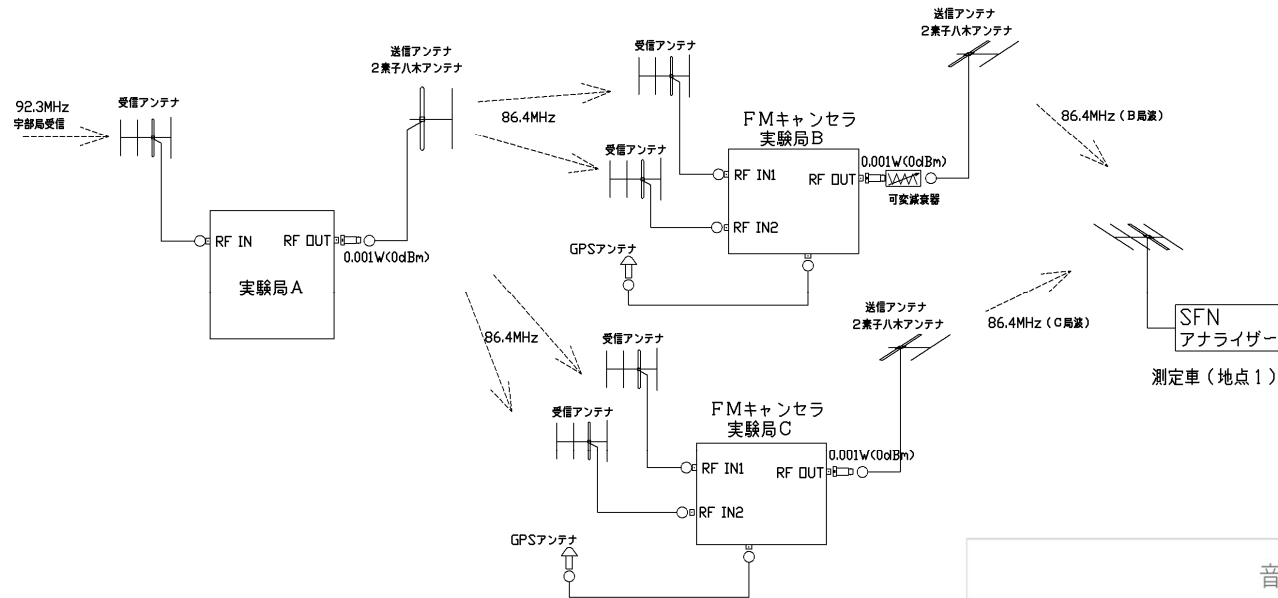


周波数シフト	実験局 D/U(dB)	音源=プログラム PSER(dB)							
		実験局B 遅延時間 (μs)							
		200	210.5	223.7	236.8	250	263.2	276.3	289.5
+100Hz	0	18.1	19.6	15.3	5.8	21.0	20.6	19.6	20.8
	2	22.5	22.6	20.7	16.7	24.2	24.2	23.2	23.1
	4	24.1	24.4	24.1	22.2	26.4	26.1	25.1	25.0
	6	26.3	25.3	24.8	24.0	28.5	29.8	27.2	25.6
	8	27.7	27.4	27.0	26.4	30.3	31.7	29.1	27.6
	10	29.5	30.0	28.9	28.0	31.9	33.9	31.1	29.4
	12	31.3	31.2	30.2	31.4	33.6	33.8	33.1	31.1
	14	33.0	33.4	32.4	33.5	35.2	35.2	35.5	32.6



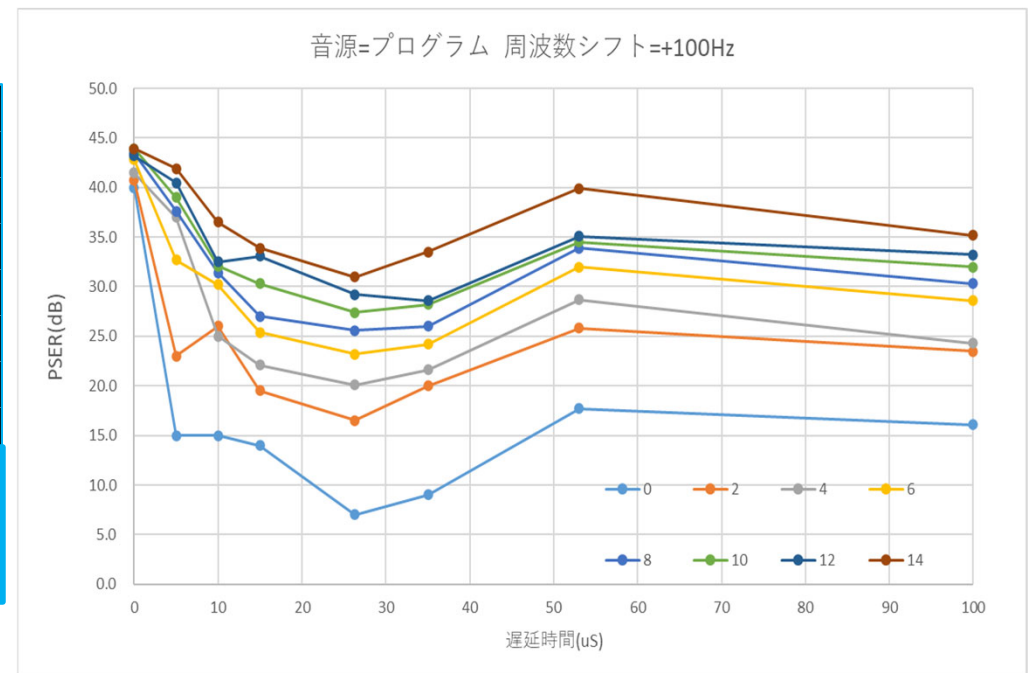
第5章 屋外試験の実施（山口大学）

屋外実験の測定結果（3）：条件④の確認



周波数シフト	音源=プログラム PSER(dB)								
	実験局 D/U(dB)	実験局B 遅延時間 (μs)							
		0	5	10	15	26.3	35	53	100
+100Hz	0	40.0	15.0	15.0	14.0	7.0	9.0	17.7	16.1
	2	40.7	23.0	26.0	19.5	16.5	20.0	25.8	23.5
	4	41.5	37.0	25.0	22.1	20.1	21.6	28.7	24.3
	6	42.8	32.7	30.2	25.4	23.2	24.2	32.0	28.6
	8	43.5	37.6	31.4	27.0	25.6	26.0	33.9	30.3
	10	43.9	39.0	32.1	30.3	27.4	28.2	34.5	32.0
	12	43.2	40.5	32.5	33.1	29.2	28.6	35.1	33.2
	14	43.9	41.9	36.5	33.9	31.0	33.5	39.9	35.2

赤字：測定値が大きく変化するため最小値で記載



第5章 屋外試験（山口大学） 考察

屋外試験（山口大学）結果からの考察

➤ FM中継局 – FM実験局を想定した屋内試験（条件①）

- ・山口大学での実験では、自局の回り込みの電波が希望波のレベルを超えるような条件が発生せず、安定して電波を発射することができた。
- ・実験局 B と実験局 C の電波が相互に影響を及ぼすことが想定されたが、「2 アンテナ + マルチパス除去」モードにより安定して電波を発射した。

➤ FM中継局 – FM実験局を想定した屋内試験（条件②：親局電波とキャンセラー局の電波がエリアで合成）

- ・ $D/U = 4 \text{ dB}$ より少ないと、 $PSE R$ は 25 dB より低く音質評価は 2。
- ・ $D/U = 6 \text{ dB}$ 付近から $PSE R$ は 25 dB 以上となり音質評価 3。
- ・ $D/U = 10 \text{ dB}$ だと、 $PSE R$ はだいたい 30 dB 程度確保でき、音質評価 4。
- ・遅延時間差が $200 \mu\text{s}$ 以上あり、周波数も 100 Hz シフトしていることから親局との電波はできるだけ D/U を確保する必要がある。

➤ 「FM中継局 – FM中継局 1」及び「FM中継局 2 – FM実験局「FM回り込みキャンセラー装置」が設置された実験局を想定した屋内試験（条件③：同期放送局とキャンセラー局の電波がエリアで合成）

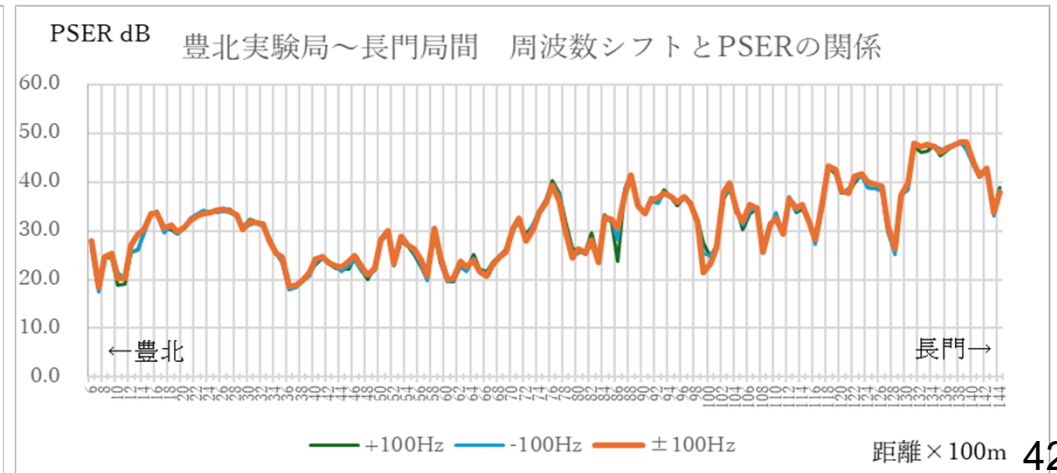
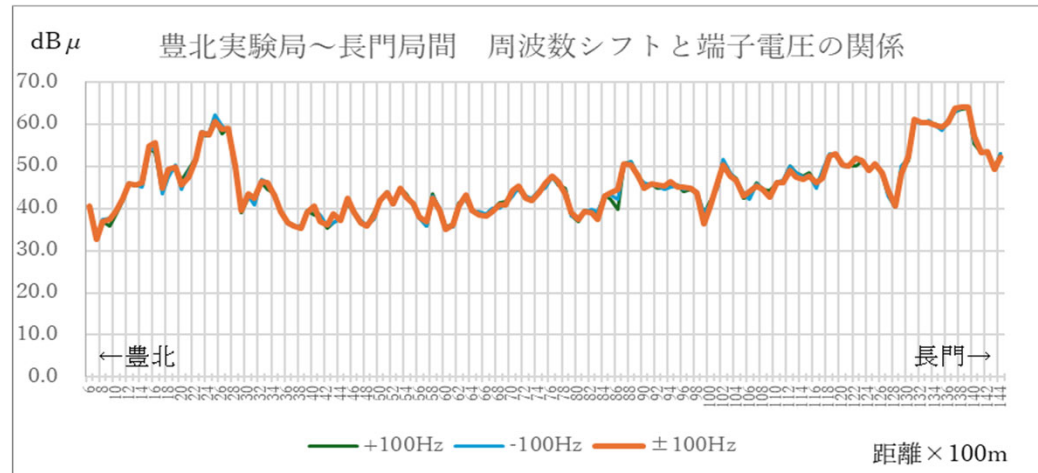
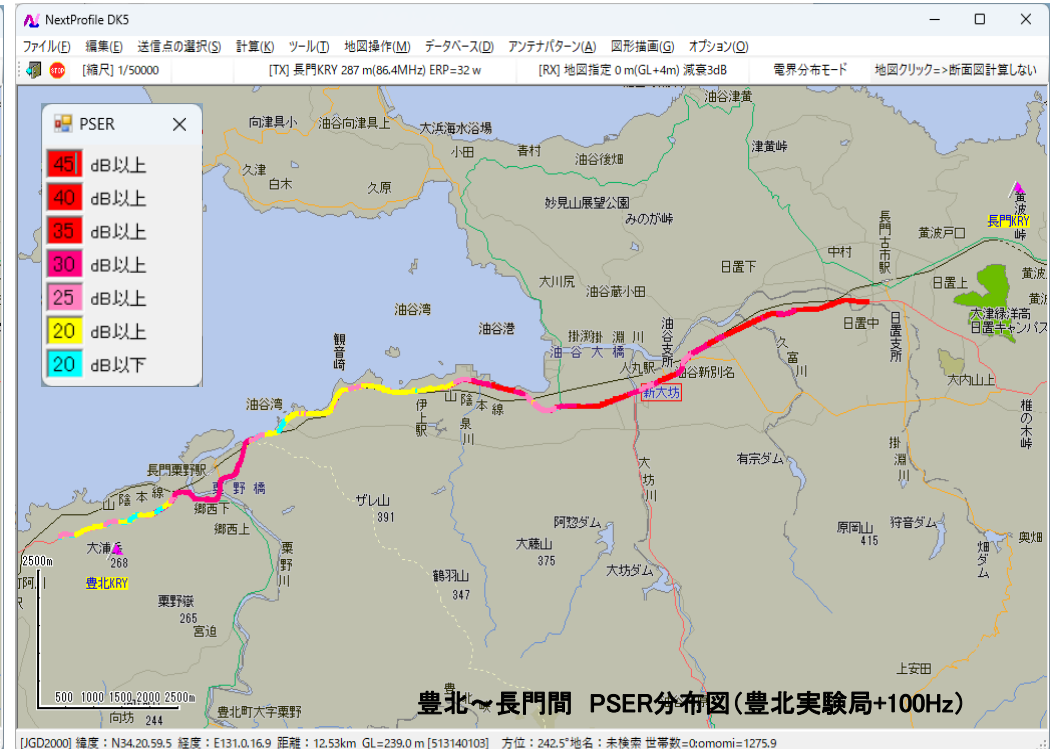
- ・条件③については、構築した設備の関係で実施せず。

➤ FM中継局から多方向（「FM中継局 – FM実験局 1」及び「FM中継局 – FM実験局 2」）で「FM回り込みキャンセラー装置」が設置された実験局を想定した屋内試験（条件④：キャンセラー局同士がエリアで合成）

- ・同じ周波数シフトの組み合わせでは、同期放送局同士の組み合わせとほぼ同等（周波数偏差、遅延時間が一致するため）の傾向となった。
- ・異なる周波数シフトの組み合わせでは、遅延時間が少なく、 D/U の差も少ない状況では同じ方式の組み合わせよりも音質は劣化の傾向にある。
- ・遅延時間差が $5 \mu\text{s} \sim 10 \mu\text{s}$ 付近では、 D/U が少ないと大きく $PSE R$ が周期的に大きく変動することが確認された。
- ・遅延時間差が大きい場合でも、 D/U が 10 dB 以上あれば音質については問題無いことが確認された。

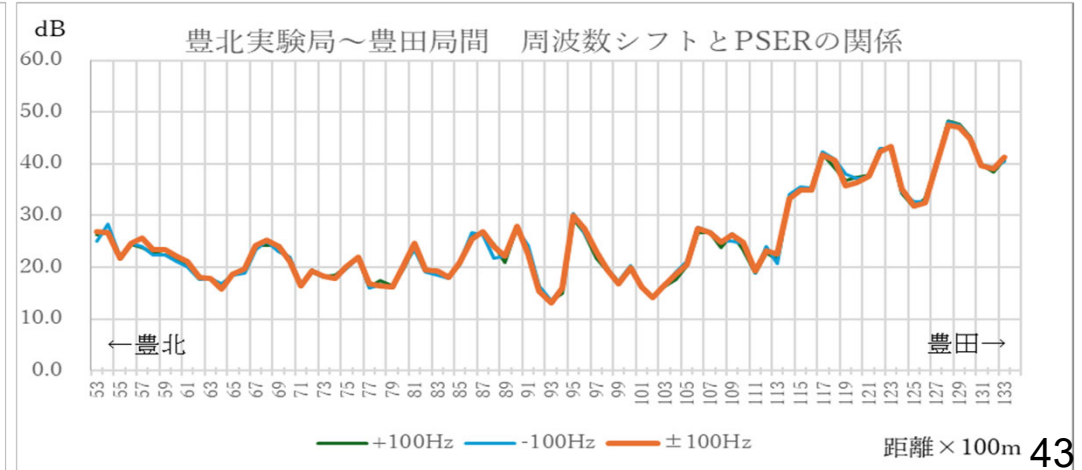
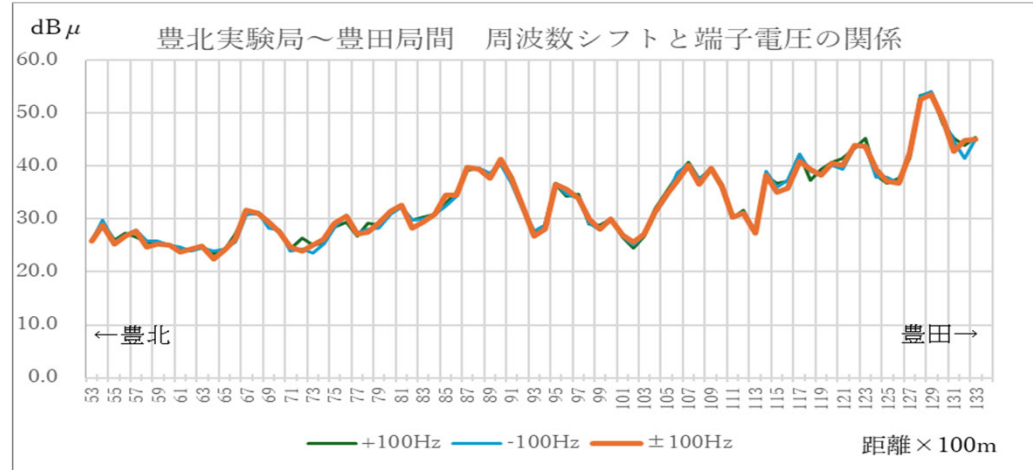
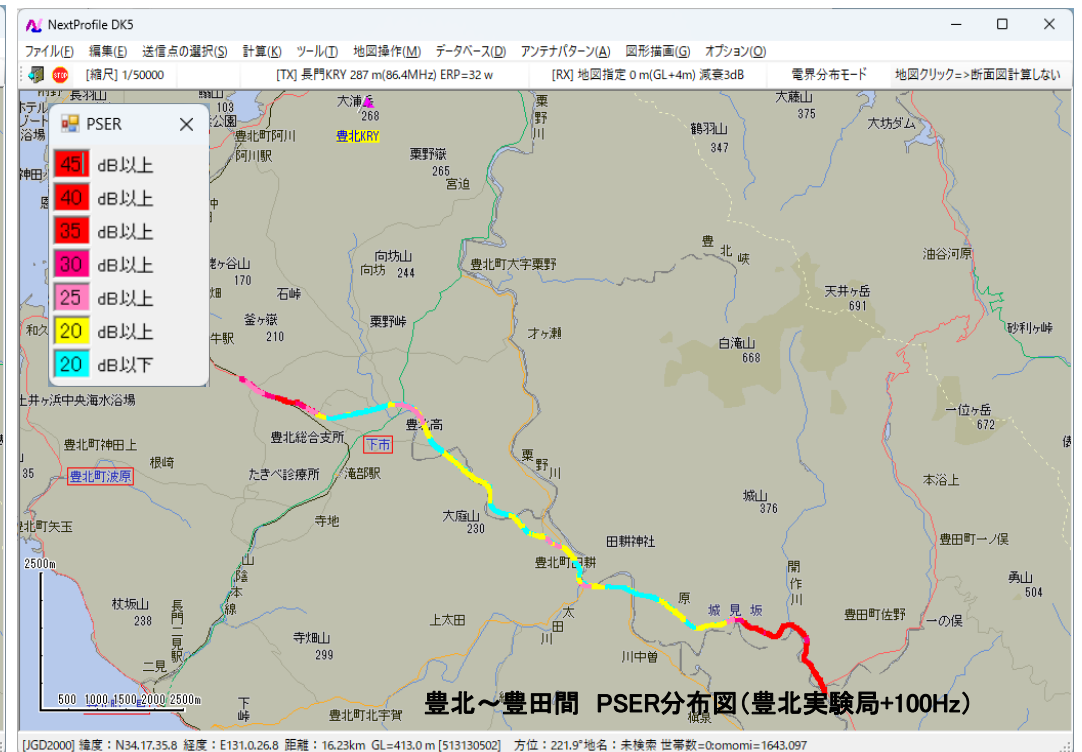
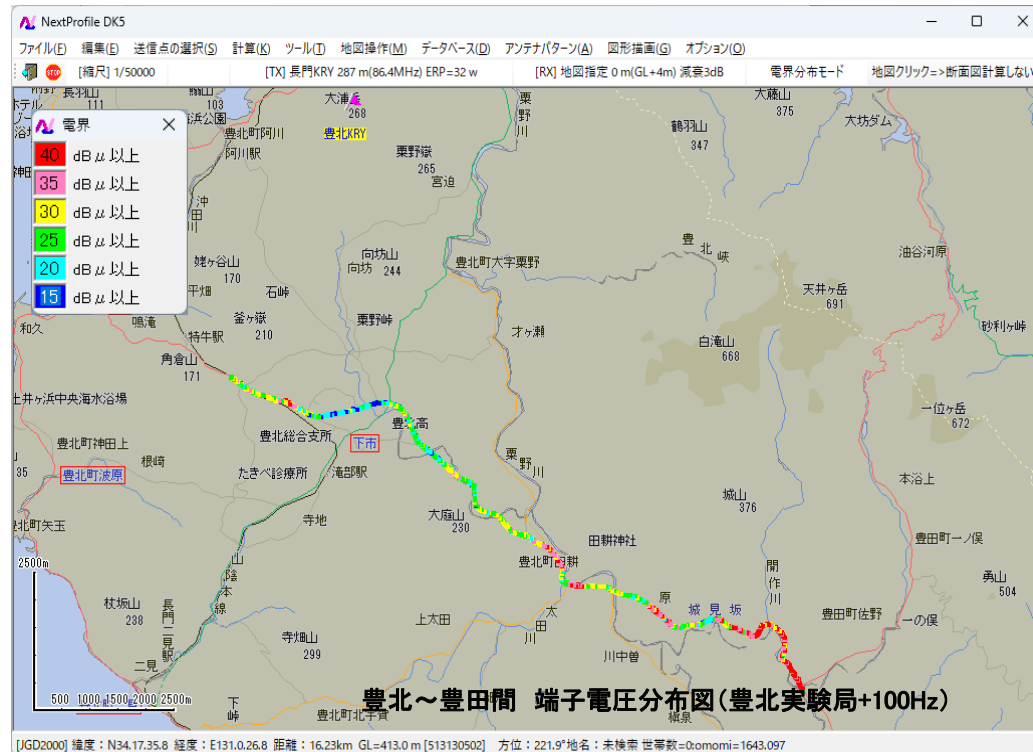
第5章 屋外試験（KRY豊北実験局を活用）

豊北～長門間 試験結果（条件②の確認）



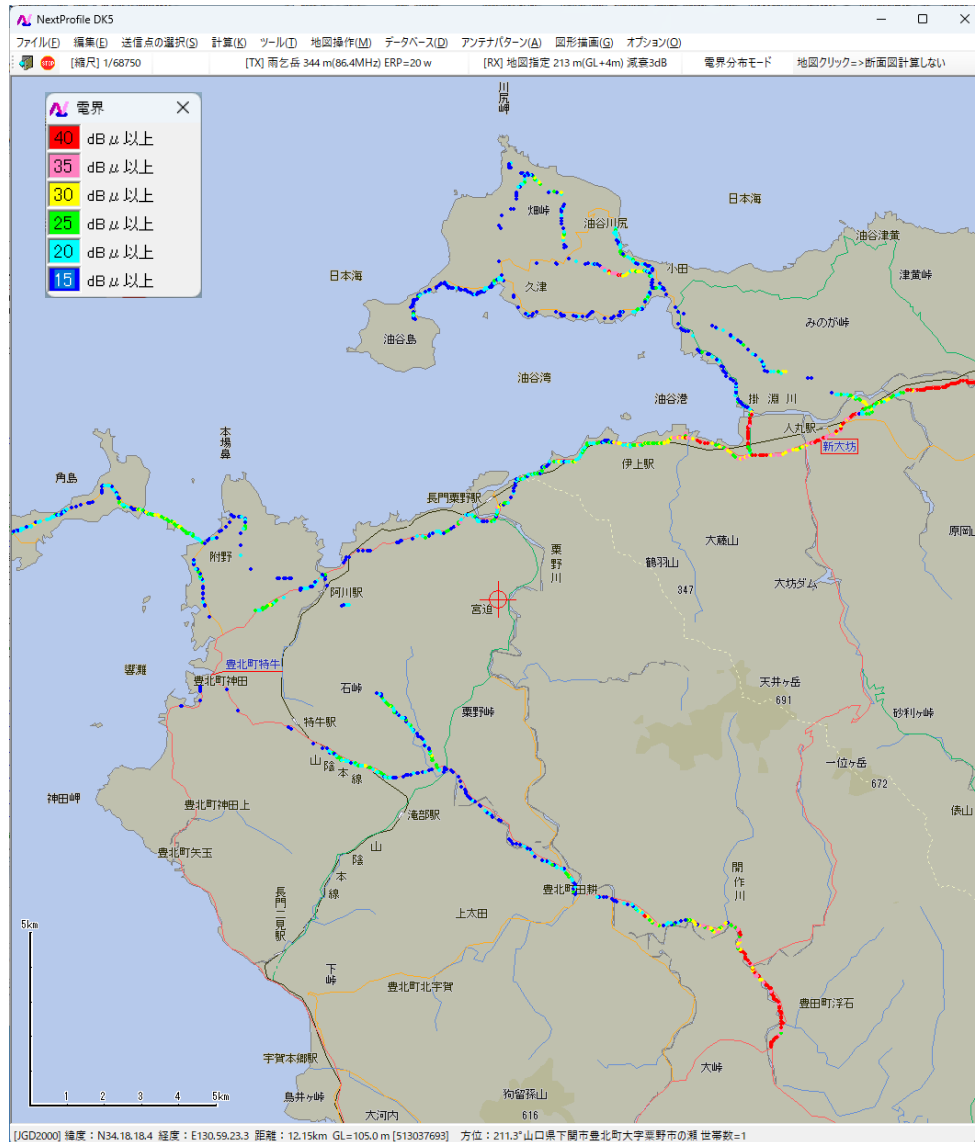
第5章 屋外試験 (KRY豊北実験局を活用)

豊北～豊田間 試験結果 (条件③の確認)

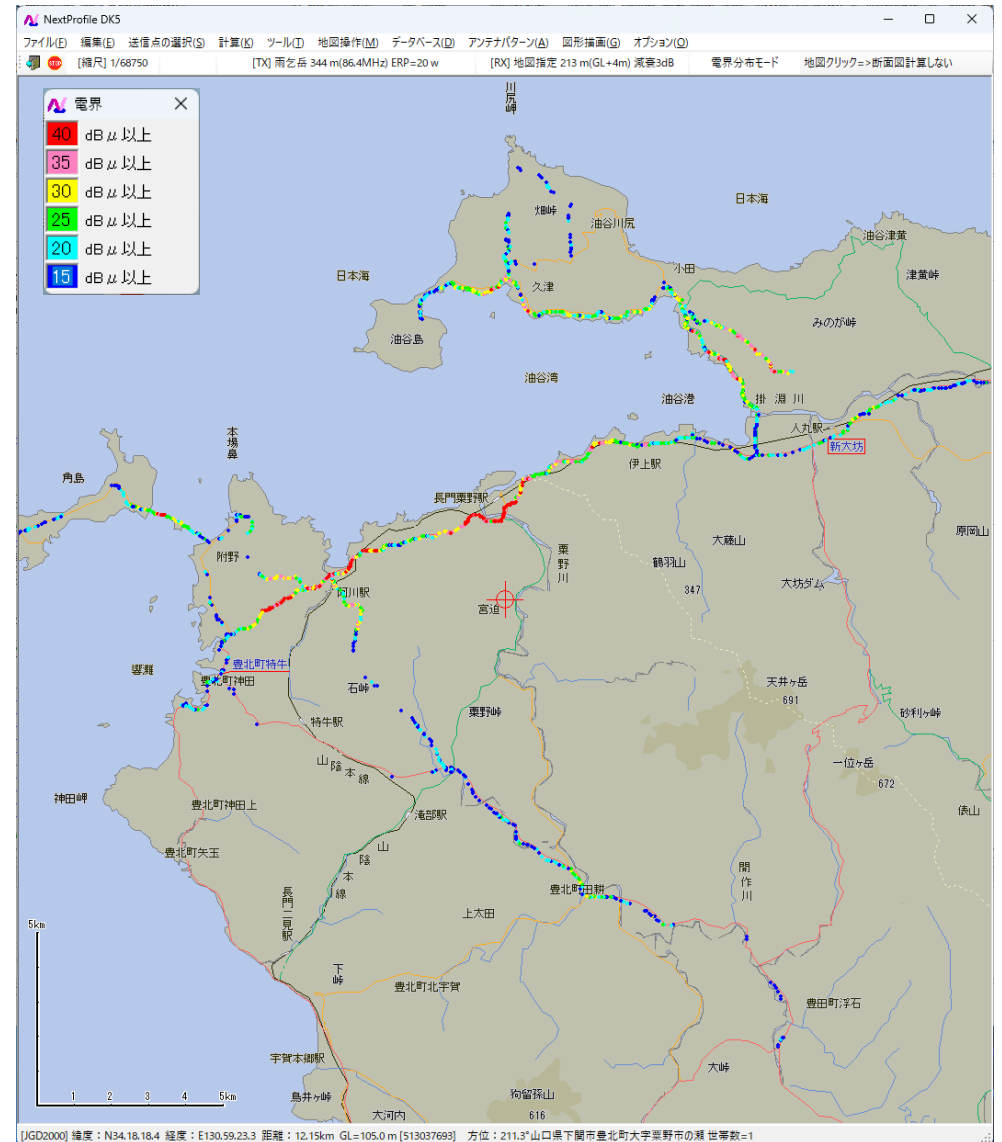


第5章 屋外試験（KRY豊北実験局を活用）

豊田～豊北～長門間 D/Uの確認



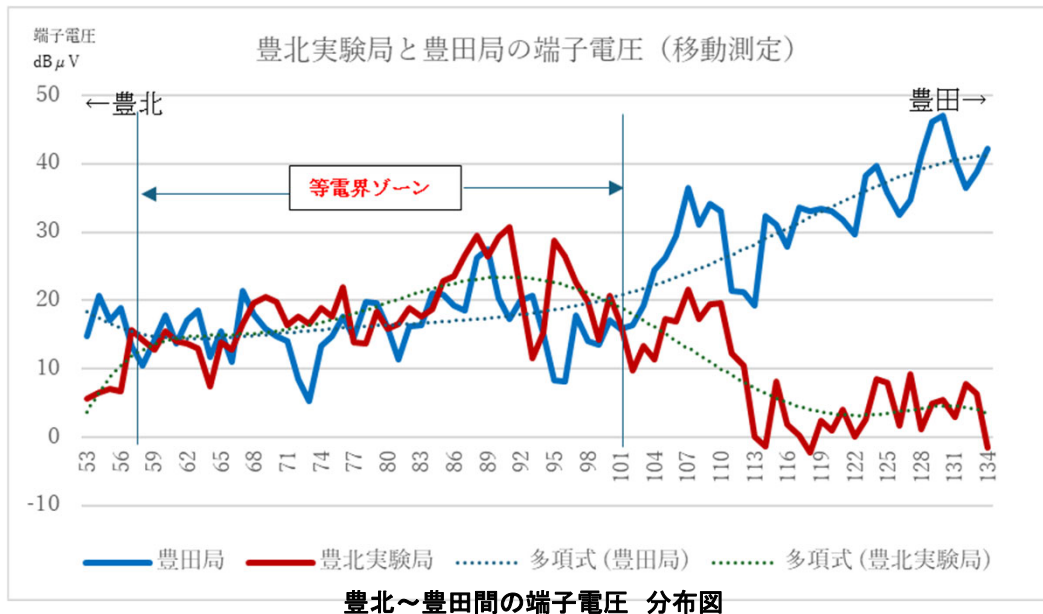
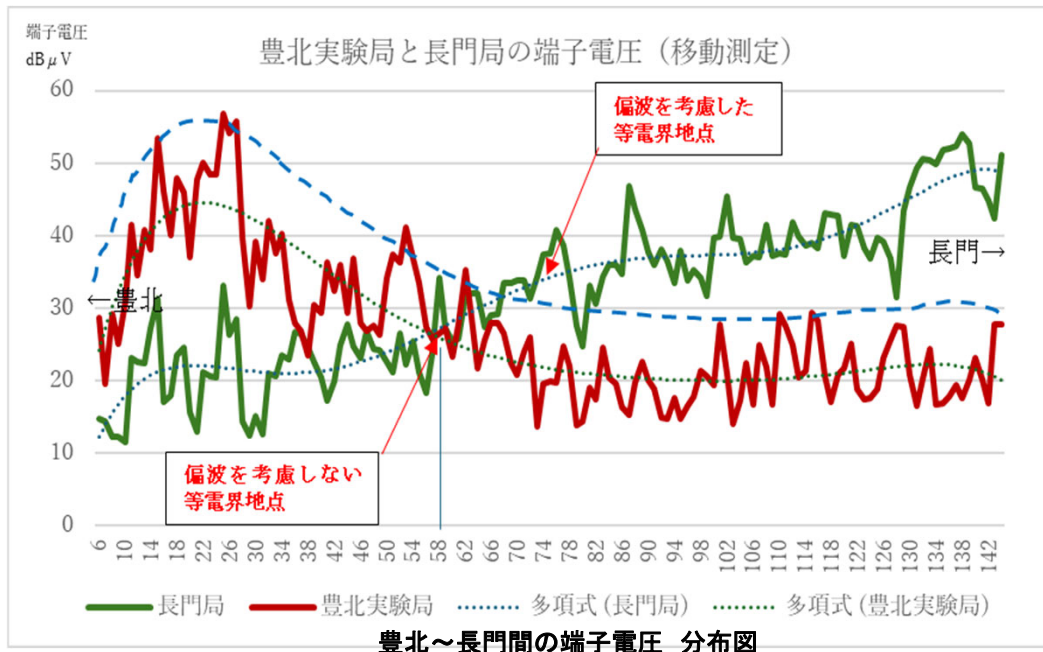
豊北～長門間 86.400000MHz 分布図



豊北～長門間 86.400100MHz 分布図

第5章 屋外試験（KRY豊北実験局を活用）

豊田～豊北～長門間 D/Uの確認



第5章 屋外試験（KRY豊北実験局を活用） 考察

屋外試験（KRY豊北実験局を活用）結果からの考察

➤ FM中継局－FM実験局を想定した屋内試験（条件①）

- ・KRY豊北局で試験中の「FM回り込みキャンセラー装置」の動作ログを確認したところ、RF入力端子電圧は80dBμV以上、回り込みD/Uは-33dB、PSERは34dBで運用中。「2アンテナ+マルチパス除去」モードにより安定して電波を発射中であった。

➤ FM中継局－FM実験局を想定した屋内試験（条件②）

- ・D/Uの分布については、今回リアルタイムスペアナで測定した結果から割り出すことができた。その際、無変調にする必要があることから放送休止中の測定となるが、FM回り込みキャンセラーの周波数シフト（+100Hz）機能を利用することでD/Uを確認することが出来た。
- ・D/Uの少ない地点では、PSERも低い値になることが確認された。D/Uが10dB以上あれば音質は良好だった。
- ・周波数シフトによる差は見られなかった。

➤ 「FM中継局－FM中継局1」及び「FM中継局2－FM実験局」「FM回り込みキャンセラー装置」が設置された実験局を想定した屋内試験（条件③）

- ・D/Uの分布については、今回リアルタイムスペアナで測定した結果から割り出すことができた。
- ・無変調にする必要があることから放送休止中の測定となるが、FM回り込みキャンセラーの周波数シフト（+100Hz）機能を利用した測定で確認することが出来た。
- ・豊北と豊田の間の道路は、双方から見通し外の地域となり端子電圧の低いエリアが長く続く地形となるため、D/UとPSERの関係については良好なデータを取得することが出来なかった。
- ・周波数シフトによる差は見られなかった。

➤ FM中継局から多方向（「FM中継局－FM実験局1」及び「FM中継局－FM実験局2」）で「FM回り込みキャンセラー装置」が設置された実験局を想定した屋内試験（条件④：キャンセラー局同士がエリアで合成）

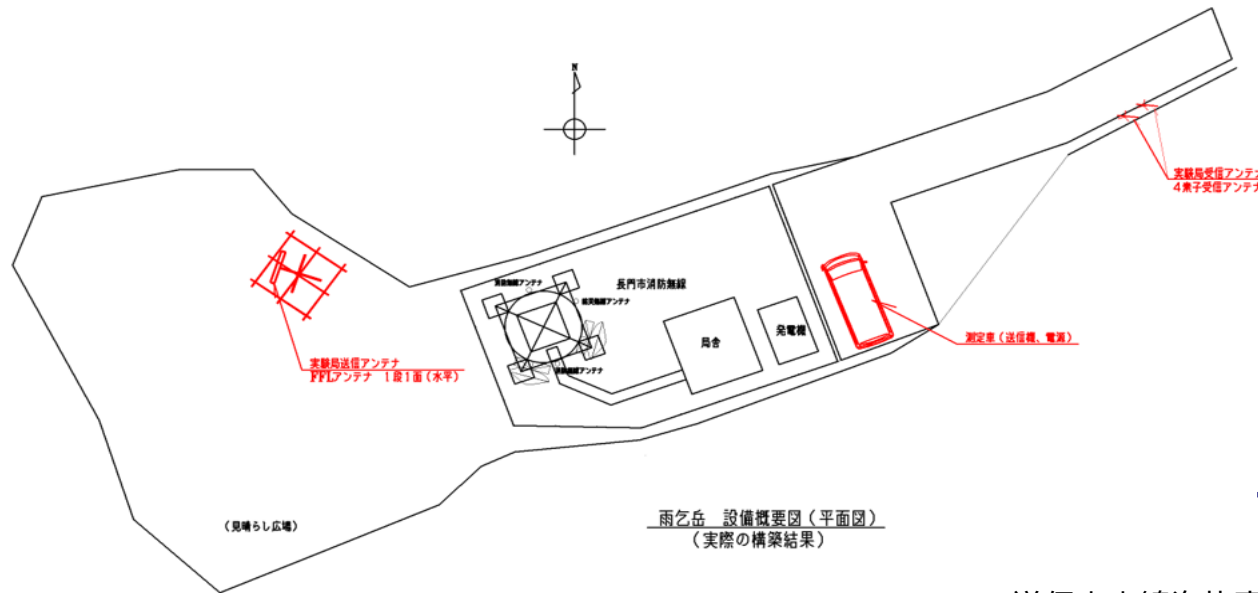
- ・実験局C（雨乞岳）を設置し、確認する計画であったが、結果的には取得できなかった。

第5章 屋外試験（雨乞岳実験局）

雨乞岳周辺のFM局の放送区域と調査場所

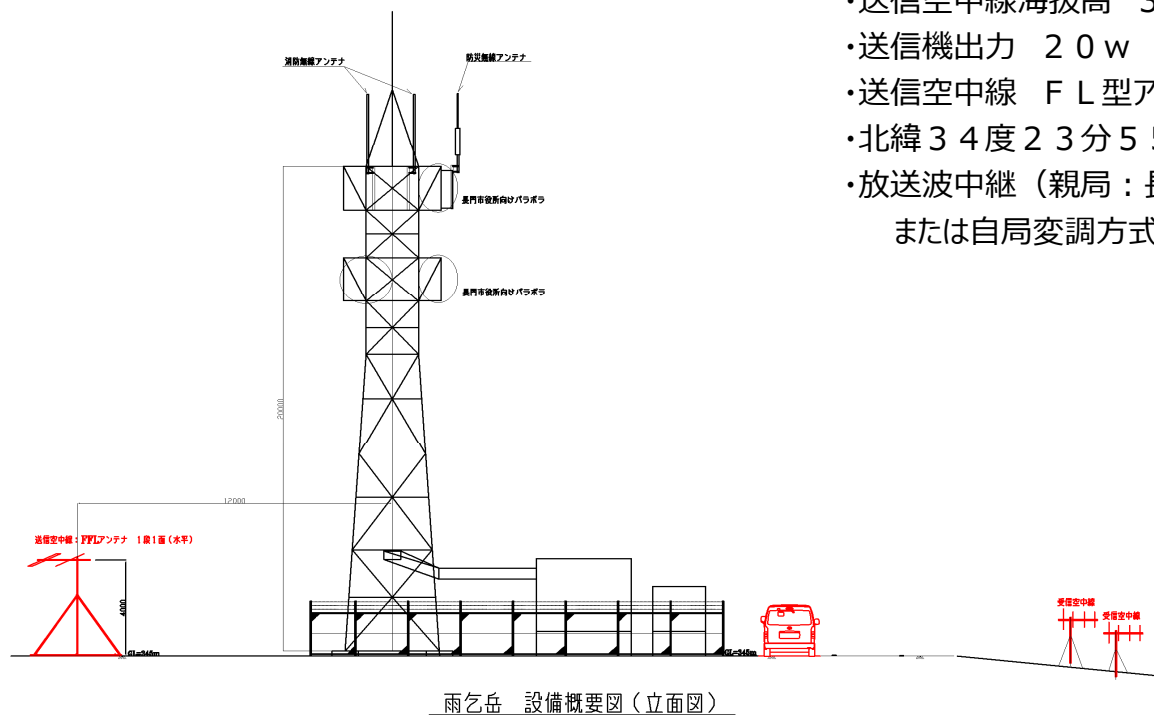


第5章 屋外試験（雨乞岳実験局）



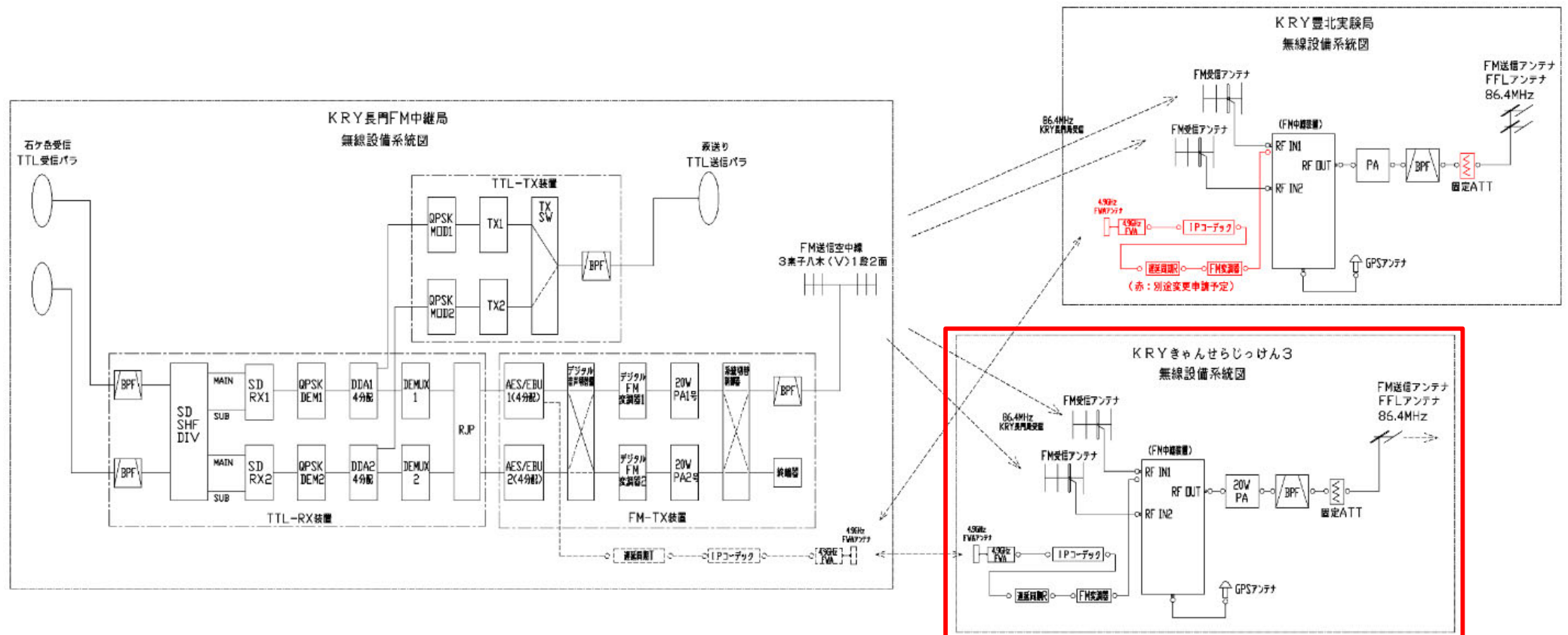
雨乞岳実験局の設備概要

- ・送信空中線海拔高 349m（地上高4m）
- ・送信機出力 20w
- ・送信空中線 F L型アンテナ 1段1面（TNから310度方向、水平偏波）
- ・北緯34度23分55秒、東経131度03分30秒
- ・放送波中継（親局：長門FM局 86.4MHz 垂直）
または自局変調方式（プログラム伝送 長門FM局から4.9GHz FWA回線）



第5章 屋外試験（雨乞岳実験局）

雨乞岳実験局の総合系統図



第5章 屋外試験（雨乞岳実験局）

雨乞岳実験局の設置状況写真



送信空中線写真



受信空中線写真



FM送信機収容車両

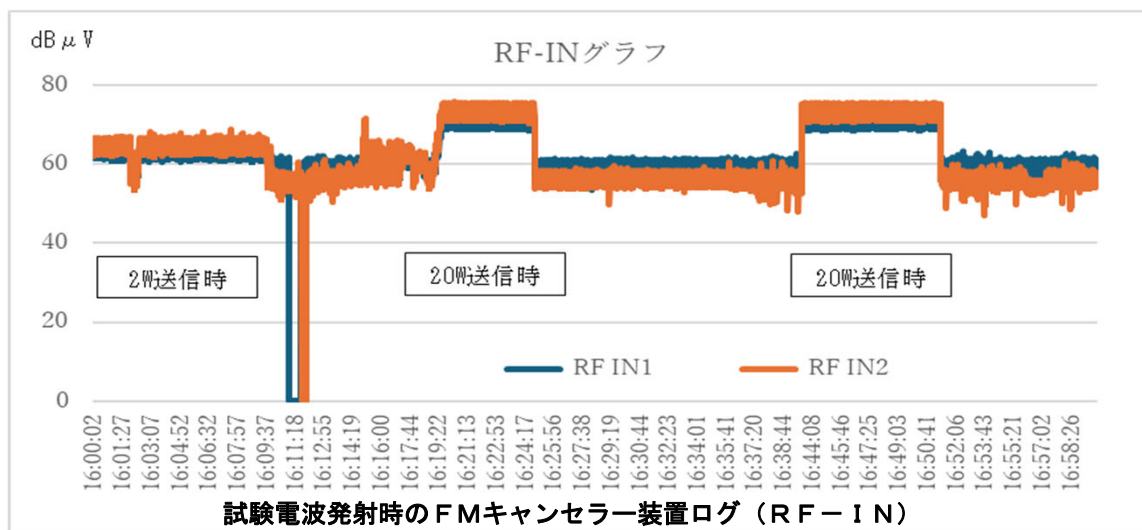


FM送信機収容状況

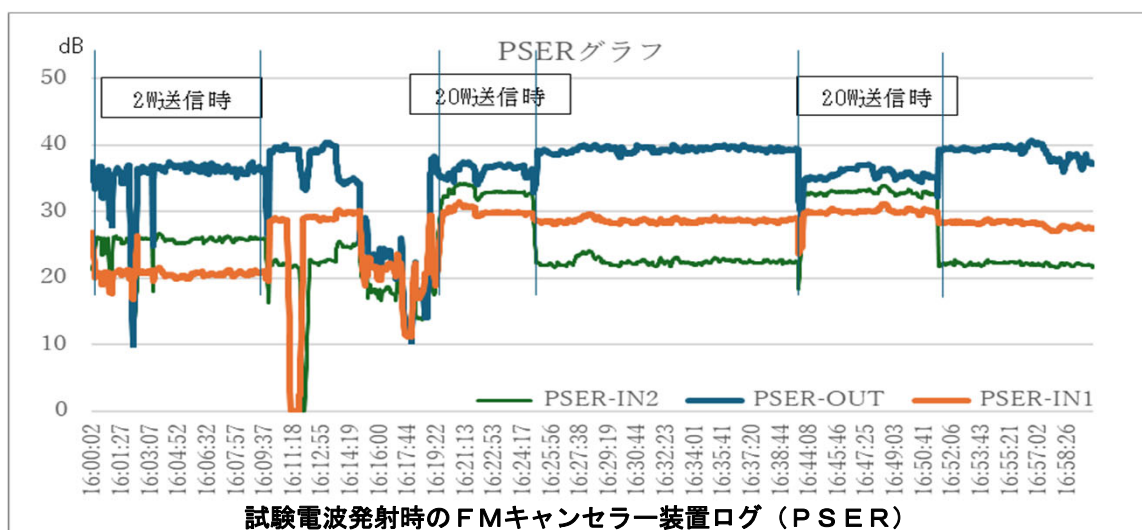
第5章 屋外試験（雨乞岳実験局）

実験局から電波発射時の送信機ログ

雨乞岳実験局では、周辺の無線局に対して妨害の有無等を確認しながら試験電波の発射を行った。その際にF M回り込みキャンセラー装置のキャンセル性能を確認するため、F M回り込みキャンセラー送信機のログを取得したので、グラフ化した。



2 wでの電波発射時、R F - I N（受信アンテナ入力レベル）は6 0 ~ 6 3 d B μ Vに対して2 0 wでの電波送信時は6 5 ~ 6 8 d B μ Vとなり、自局回り込み波によってR Fレベルが上昇することが確認された。P S E Rについては、電波を発射していない状態では4 0 d Bであったが、2 0 w送信時は3 5 d B付近まで低下し、さらに変動していることが確認できる。送信のP S E Rはできるだけ高く、変動の少ない状態を維持できる設備にする必要がある。



雨乞岳実験局でのデータ取得については、何度か試験電波を発射し測定を行ったが、報告・分析できるようなデータの取得ができなかった。考えられる理由を列挙する。

- ・親局の長門とほぼ同じ方向から萩局の電波が到来し、マルチパスの影響が大きくP S E Rが安定しなかった。
- ・エリアに対して、長門局以外の複数局からの電波が飛来しており、P S E R測定値に影響した。

以上のことから、設備の設置状況の問題や周辺局からの電波の飛び込みなどの影響があり、分析できるようなデータの取得ができなかった。今後、同様の実験を行う際には、今回の問題点等を参考にされたい。

第6章 試験結果と技術的条件

第6章 試験結果と技術的条件

(1) 試験結果と技術的条件

➤ 周波数シフトの方式と周波数

F M回り込みキャンセラーは親局からの受信電波と自局の電波を識別する必要があることから、自局の送信電波をずらす必要がある。今回の調査検討では、周波数シフトを $+100\text{ Hz}$ 、 -100 Hz 、 $\pm 100\text{ Hz}$ の3つの方式で比較検討を行った。中継装置単体の性能では、それぞれの方式による優劣は確認されなかったが、 $\pm 100\text{ Hz}$ については周波数シフト方式ではない同期放送の電波とエリアなどで合成した場合、 D/U が 0 dB で、遅延時間が $0\mu\text{s}$ でも音質に多少ノイズがあることが確認された。理由は周波数シフトをする際に周波数偏差 0 Hz を通過するため、タイミングによってはノイズが発生する。 $\pm 100\text{ Hz}$ の方式は周波数カウンターなどの測定器で周波数を測定する際に、周波数偏差が 0 Hz で計測されるというメリットがあるが、音質のことを考えると選択しないほうがよいと考える。

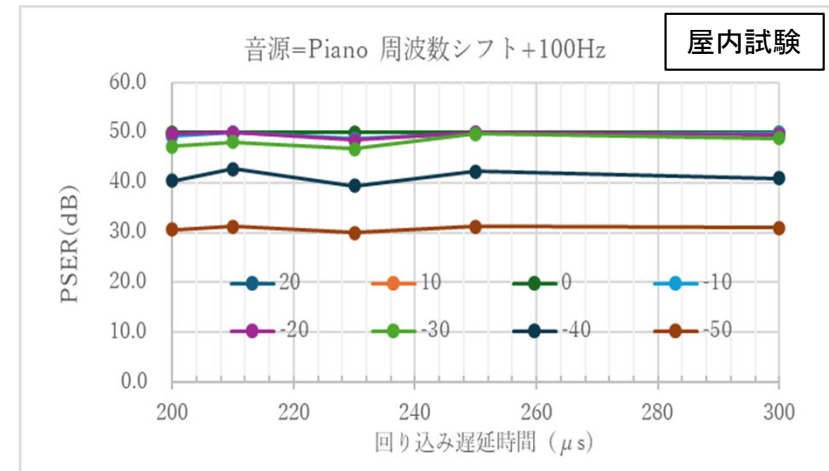
-100 Hz については、多段での放送波中継を行う際に上位局が $+100\text{ Hz}$ でシフトしている場合、 -100 Hz のシフトを使用することでシフト量を 0 Hz に戻す用途として利用できる。よって -100 Hz については、多段中継用途としての利用を推奨する。

以上のことから、1段目の「同一周波数放送波中継」で使用する周波数シフト方式は「 $+100\text{ Hz}$ 」を推奨する。

➤ 自局の回り込みレベル

F M回り込みキャンセラー装置に入力するR F信号は、希望波の信号レベルを可能な限り高くすることと、希望波に対する自局の回り込み波との D/U をできるだけ小さくする必要がある。屋内試験での静的環境下においては装置単体の性能として $D/U = -50\text{ dB}$ （回り込み波が 50 dB 高い）でも発振せずに電波を送信することが出来たが、屋外のような動的環境下においては希望波の季節変動や、気象状況・季節変化による周辺からの反射波の変動などで回り込み波のレベルと位相が時間的に変化することが想定されることから、 $D/U = -35\text{ dB}$ 以内で、親局波と回り込み波の位相差が 180° 付近で安定する場所に受信アンテナの配置を行う必要がある。さらに、希望波（親局）の受信入力信号レベルが低くなると、自局の回り込み波がキャンセルできずに送信電波に出てくる可能性があり、電波法上の最大周波数偏移（ 200 kHz 以内）への影響や、帯域外スプリアス領域における不要波の輻射レベルが上昇する可能性も考えられることから、規格内に収まるかどうか留意しながら設備の構築を行う必要がある。

- ・回り込み D/U の目標値： -35 dB 以内（帯域外スプリアス発射が規格内）
- ・送信波の品質目標： $PSE R = 30\text{ dB}$ 以上（可能であれば 35 dB 以上）
- ・希望波の受信入力端子電圧は高いほうがよい（目標： $60\text{ dB}\mu\text{V}$ 以上）



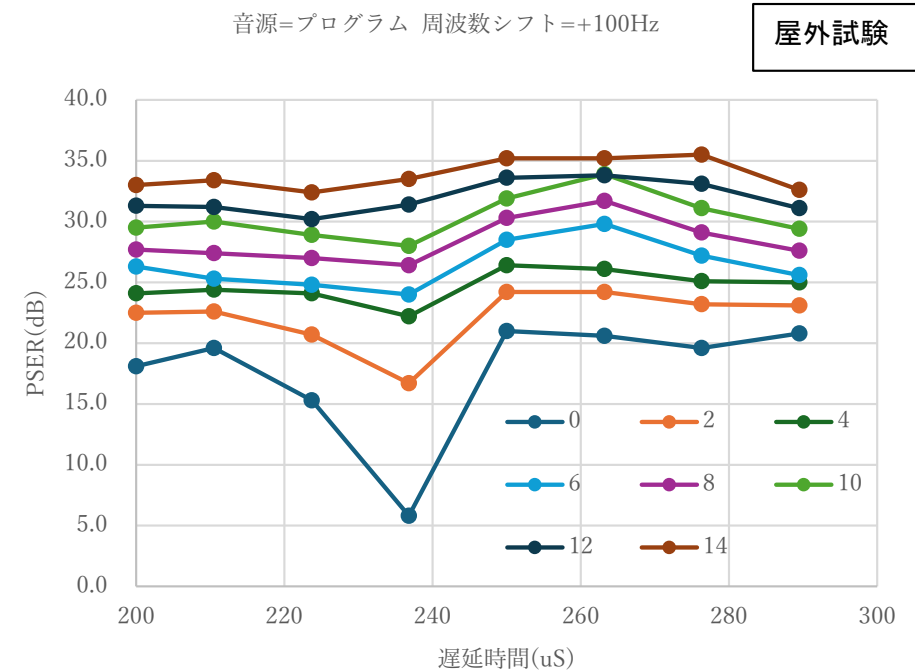
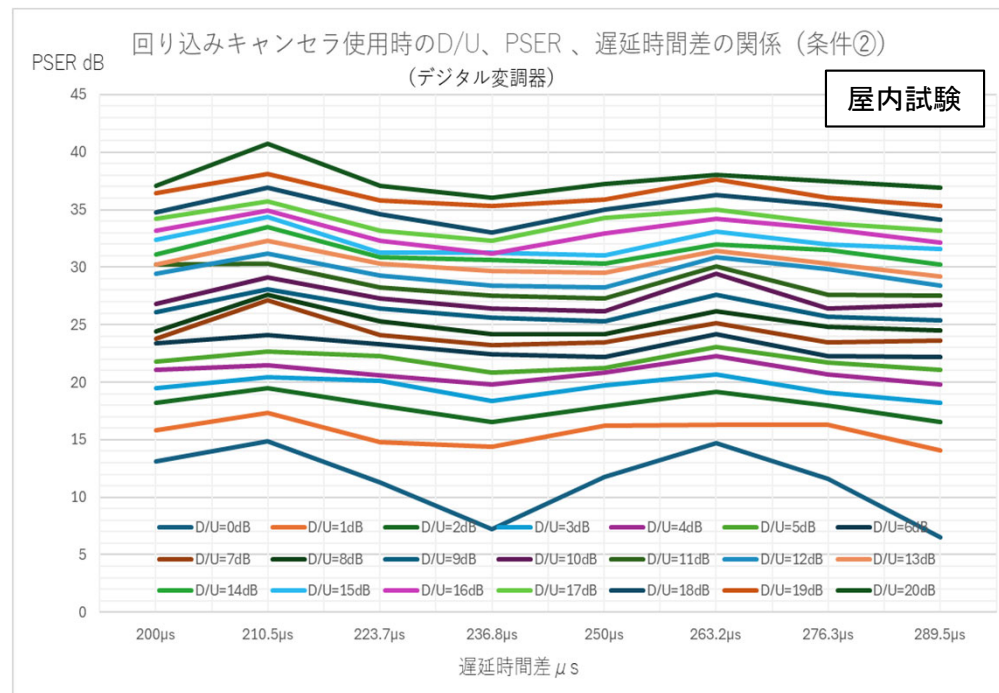
第6章 試験結果と技術的条件

(2) 試験結果と技術的要件

➤ 放送波中継における親局と「FM回り込みキャンセラー装置」を設置した中継局の放送区域が交差する場合に必要な技術的条件 (条件②)

親局の電波とFM回り込みキャンセラー装置が設置されたFM中継局の電波がエリアで交差する場合、遅延時間差が200μs以上あり、周波数も100Hzずれていることから、可能な限りD/Uを確保する必要がある。屋内試験の結果及び及び山口大学構内で実施した屋外試験の結果から、基準は以下の通りとする。

親局と電波が交差する場合のエリア内D/U：12dB以上 (評価4)
8dB以上 (評価3)



第6章 試験結果と技術的条件

(3) 試験結果と技術的条件

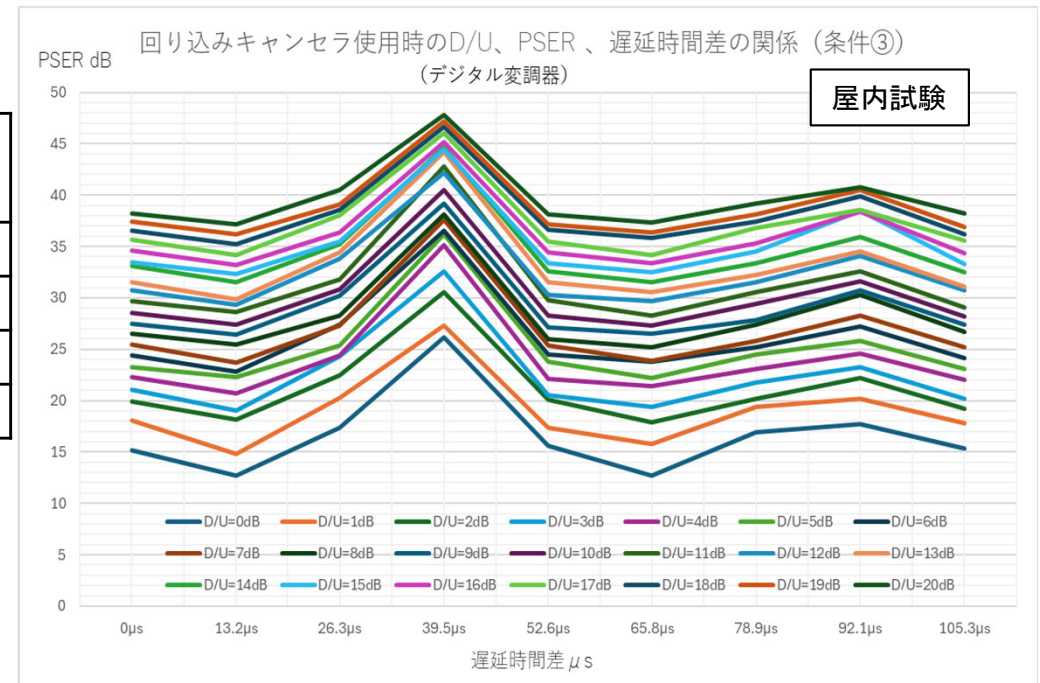
➤「F M回り込みキャンセラー装置」を設置した中継局と、F M同期放送による別の放送波中継局の放送区域が交差する場合に必要な技術的要件（条件③）

別の放送波中継ルートで電波とF M回り込みキャンセラー装置が設置されたF M中継局の電波がエリアで交差する場合、屋内試験の測定結果より同期放送での試験結果と大差がないことから、同期放送局同士の技術的条件を設定する。なお、F M回り込みキャンセラー装置を経由した電波は周波数が100Hzずれていることから、D/Uは多めの設定が望ましい。

遅延時間とD/Uの関係については、平成27年7月の情報通信審議会一部答申「放送システムに関する技術的条件」の中の「表1-2 同期放送の技術的条件」で記されている「ギャップフィルター局間の同期放送の条件」を参考に、下記の表を作成した。同期局とキャンセラー局間のD/Uは屋内試験の結果及び資料5-3及び資料5-5をもとに設定した。なお、遅延時間差が20μs以上のD/Uの設定が無かったが、屋内試験の結果20μs以降はパイロット信号の位相関係に応じた音質変化の状態が繰り返し継続するが、D/U=12dB以上あれば評価4を確保できることを確認した。

（主観評価＝4となるために必要なD/U）

送信局間の遅延時間差	同期局同士D/U	同期局とキャンセラー局のD/U	備考
5μs以内	規定せず	2dB以上	周波数100Hzずれ
5～10μs未満	6dB以上	8dB以上	周波数100Hzずれ
10～20μs未満	9dB	10dB以上	周波数100Hzずれ
20μs以上		12dB以上	周波数100Hzずれ



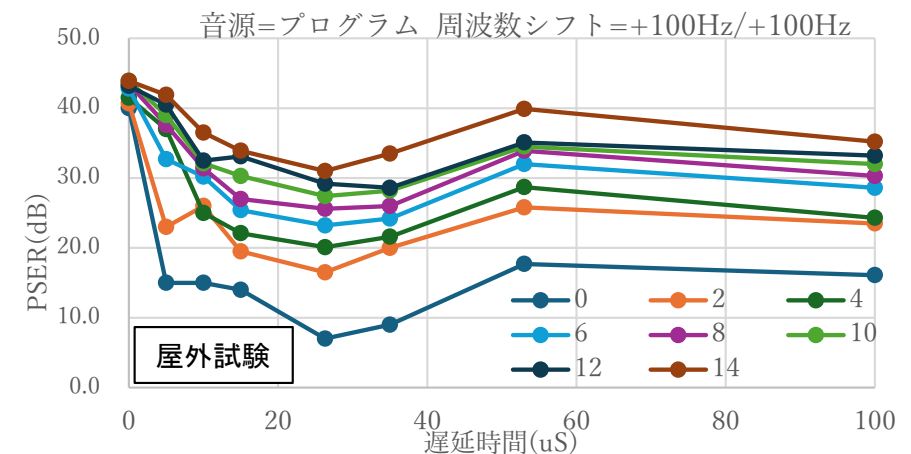
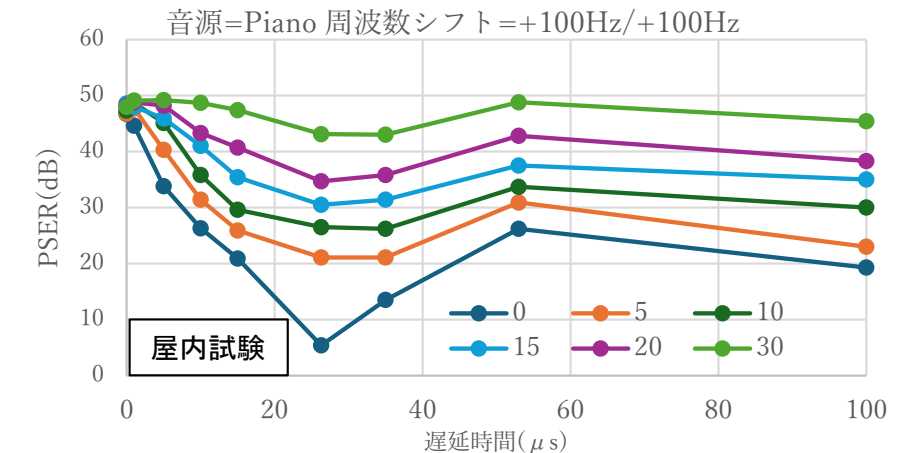
第6章 試験結果と技術的条件

(4) 試験結果と技術的条件

➤ 放送波中継における同一の親局とする「F M 回り込みキャンセラー装置」を設置した中継局 1 と「F M 回り込みキャンセラー装置」を設置した中継局 2 の放送区域が交差する場合に必要な技術的条件（条件④）

同一の親局とする「F M 回り込みキャンセラー装置」を設置した中継局 1 と「F M 回り込みキャンセラー装置」を設置した中継局 2 の電波がエリアで交差する場合、屋内試験の測定結果及び山口大学構内で実施した屋外試験の結果から、F M 同期放送の技術的条件と同等で問題無い。よって、遅延時間と D / U の関係については、令和 2 年情報通信審議会答申「諮問第 2 0 2 3 号 F M 同期放送の技術的条件」の中の「F M 放送における遅延時間差と混信保護比の条件（同期評価テーブル）」を採用する。

相互に同期関係にある 基幹放送局間の 搬送周波数差及び 最大周波数偏移差	許容される 遅延時間差 (μs)	混信保護比 (dB)		
		主観評価2	主観評価3	主観評価4
搬送周波数差 2Hz 以内 かつ 最大周波数偏移差 1kHz 以内	0	0.0	0.3	1.7
	1	0.0	0.7	1.9
	5	1.1	2.6	4.4
	10	2.0	4.6	7.6
	26.3	9.5	11.8	13.8
	53	5.0	7.6	10.7
	100	8.3	13.5	20.0
搬送周波数差 0.2Hz 以内 かつ 最大周波数偏移差 1Hz 以内	0	0.0	0.0	0.0
	1	0.0	0.0	0.0
	5	0.4	1.3	2.3
	10	1.1	2.8	4.8
	26.3	6.3	10.0	12.8
	53	3.4	7.1	12.0
	100	7.0	13.1	19.4



第7章 調査検討会のまとめ

(1) 屋内・屋外試験から

➤ 屋内試験からの考察

屋内試験では、日本通信機（株）工場で試験を行った。基本となる同期放送でのデータを取得し、そのデータを基準に「F M 回り込みキャンセラー装置」を実際に設置されるケースを想定した試験を行った。その中で、回り込みキャンセラーの性能については、かなり安定して動作をしているといった印象を感じた。「F M 回り込みキャンセラー装置」の信号は親局の信号から 1 0 0 H z ずれており、さらに 2 0 0 μs 遅延が発生していることから、音質については問題ないか慎重に確認したが、D / U が - 3 0 d B （3 0 d B 回り込み信号が高い）でも問題無くキャンセリング出来ていることを確認した。音質も良好であった。「F M 回り込みキャンセラー装置」の信号は今まで採用してきた同期放送の概念とは異なる基準で考える必要があると感じたが、プログラム信号が同じということから音質の評価としてはマルチパスが強い状況に近いものとなった。ただし、エリアで交差する場合は①親局の電波と交差、②他の放送中継ルートからの電波と交差、③F M キャンセラー局同士の電波が交差するケースが想定されることからそれぞれのD / U と遅延時間差を試験したが、結果的には同期放送の技術的条件とほぼ同じ基準で考慮しても問題無いことが確認された。ただし、親局の電波と交差するエリアが発生する状況は可能な限り設定しないほうが望ましいと考える。

➤ 屋外試験からの考察

屋外試験では、屋内試験で得た結果の検証を行う予定ではあったが、主にK R Y 豊北実験試験局を活用した試験となった。また、移動測定を活用し、点ではなく面による広範囲の調査となった。K R Y 豊北実験局は親局である長門局の電波が比較的良好に飛んできており、等電界となる範囲が比較的広いと感じた。また、豊北実験が水平偏波で、親局である長門局が垂直偏波のため、エリアでの等電界ポイントをどこに設定するか悩んだ。周波数シフト方式による違いについては、まったく無いことを検証することが出来た。音質の評価をするための手法としてS F N アナライザーによるP S E R 測定データを活用した。P S E R 測定はパイロット信号を利用して音声の品質を計測する技術であるが、今回の試験でもS F N アナライザーによる移動測定で利用したところ、プログラム信号でも音質の評価を数値で計測することが確認された。

第7章 調査検討会のまとめ

(2) 公開試験

➤ 開催日時

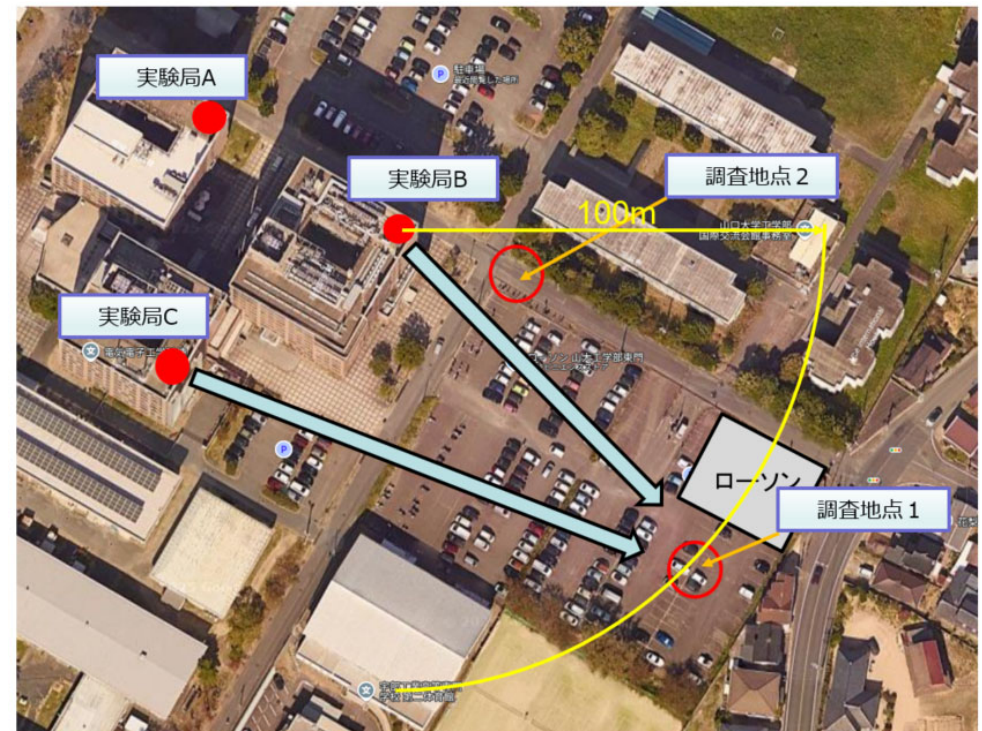
2025年3月26日(水) 13:30～15:30

➤ 試験場所

山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学 工学部 常盤キャンパス内

➤ 実施項目

- ・機械・社建棟屋上に「FM回り込みキャンセラー実験局」の親局となる「実験局A」を設置。
 - ・総合研究棟屋上に「FM回り込みキャンセラー実験局（実験局B）」を設置。
 - ・電気電子棟屋上に「FM回り込みキャンセラー実験局（実験局C）」を設置。
 - ・調査地点を2か所設置。調査地点1は実験局Bと実験局CのD/Uが少ない地点とした。調査地点2は実験局Aの電界が高く、実験局BとのD/Uが少ない地点とした。
-
- ・調査地点1では、実験局Bの出力と遅延時間を変化させ、PSE Rや音質の確認を行った。また、周波数シフト方式の組み合わせを変えてPSE Rや音質の確認を行った。
 - ・調査地点2では、実験局Bの出力と遅延時間を変化させ、実験局AとのD/Uを確認しながらPSE Rや音質の確認を行った。



公開実験の実験局設置場所と調査ポイント

第7章 調査検討会のまとめ

(3) 公開試験の実施状況、結果

(ア) 調査地点 1 にて、上位局を同一とする複数の「F M 回り込みキャンセラー装置」を設置した場合の屋外試験を実施した。実験局 B の出力及び遅延時間を変化させ、実験局 C との D / U や遅延時間差による P S E R や音質の評価を行った。また、周波数シフト方式の組み合わせを行い、音質の確認を行った。

(イ) 調査地点 2 にて、F M 回り込みキャンセラーの電波と親局の電波が合成されるエリアを想定した屋外試験を実施した。実験局 B の出力や遅延時間を変化させ、実験局 A との D / U や遅延時間差による P S E R や音質の評価を行った。また、周波数シフト方式の組み合わせを行い、音質の確認を行った。



全体説明



公開試験の概要説明



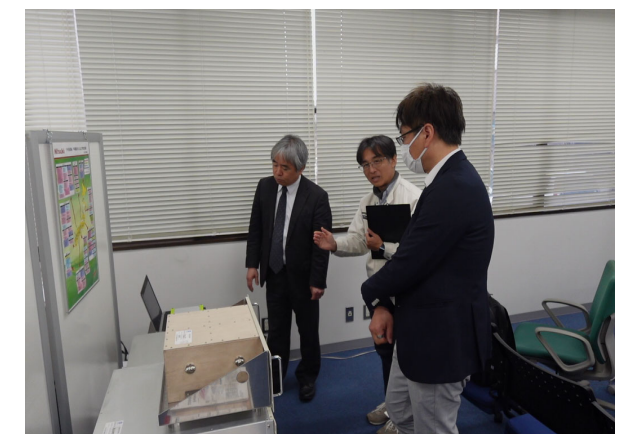
公開試験中



公開試験中



公開試験中



機器の展示

第7章 調査検討会のまとめ

(4) 「FM回り込みキャンセラー装置」の今後について

山口放送（株）の豊北FM実験局は2020年8月から実験を開始しており、現在までに「回り込み波のキャンセリング性能の改善」、「外国波等マルチパス波の除去機能の追加」、「無音時の発振対策」等を行い、安定的に試験放送を継続している。また、隣接局（長門局・豊田局・萩局・豊浦局など）の受信者から音質に関する問合せ等もない状態である。本調査検討会としては、豊北FM実験局や「FM回り込みキャンセラー装置」を活用したFM放送エリアの拡張を希望しておられる放送事業者の要望に応えるため、必要となる制度の早期整備を希望する。

